

Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik
der Berufsgenossenschaftlichen Krankenanstalten
„Bergmannsheil Bochum“
Chefarzt: Prof. Dr. med. W. T. Ulmer

Medizinische Grundlagen für die Erarbeitung von Grenzwerten bei der Exposition von Quarzstaub und quarzhaltigen Mischstäuben

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ruhr-Universität zu Bochum

vorgelegt von
MARTIN BEDDIG
aus Bochum

Bochum 1984



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546428_0011

Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik
der Berufsgenossenschaftlichen Krankenanstalten
„Bergmannsheil Bochum“
Chefarzt: Prof. Dr. med. W. T. Ulmer

Medizinische Grundlagen für die Erarbeitung von Grenzwerten bei der Exposition von Quarzstaub und quarzhaltigen Mischstäuben

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ruhr-Universität zu Bochum

vorgelegt von
MARTIN BEDDIG
aus Bochum

Bochum 1984

Aus der Medizinischen Fakultät der Universität
der Bundesrepublik Deutschland
in Bonn
Ordnung Nr. 10 vom 1. März 1974

Medizinische Fakultät für die Fachrichtung
von Zahnärzten bei der Expedition von
Gemeinschaft und gesundheitlichen Beziehungen

1. Vorsitz: Prof. Dr. Kozuscheck

2. Vorsitz: Prof. Dr. W.T. Ulmer

3. Vorsitz: Prof. Dr. G. Reichel

4. Vorsitz: Prof. Dr. G. Reichel

Dekan: Prof. Dr. Kozuscheck

Referent: Prof. Dr. W.T. Ulmer

Coreferent: Prof. Dr. G. Reichel

Bonn, 1. März 1974

2. Inhaltsverzeichnis

1. Die Geschichte der Kunsttheorie, von der Antike bis zur Neuzeit
2. Die Kunsttheorie, von der Renaissance bis zur Gegenwart

3. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Gegenwart

1. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Renaissance
2. Die Kunsttheorie, von der Renaissance bis zur Gegenwart

4. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Gegenwart

4.1. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Renaissance

4.2. Die Kunsttheorie, von der Renaissance bis zur Gegenwart

4.3. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Gegenwart

1. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Renaissance
2. Die Kunsttheorie, von der Renaissance bis zur Gegenwart
3. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Gegenwart

4. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Gegenwart
5. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Gegenwart

3. FÜR ANNA DUDDA

1. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Renaissance
2. Die Kunsttheorie, von der Renaissance bis zur Gegenwart

3. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Gegenwart
4. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Gegenwart

5. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Gegenwart
6. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Gegenwart

4. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Gegenwart

4.1. Die Kunsttheorie, von der Antike bis zur Renaissance

- I. Einleitung
- II. Quarz- und Quarzmischstäube, Definition und Vorkommen
- III. Inkorporation, Retention und Penetration von Stäuben
- IV. Staubmeßverfahren
- V. Die schädigende Wirkung von Quarz und quarzhaltigen Stäuben auf den Organismus
 - 1. Histopathogenese
 - 2. Pathologie
 - 3. Röntgenologie und Staging
 - 4. Klinik
- VI. Quantitative Beziehungen zwischen Quarzstaub- oder Quarzmischstaubexposition und den Wirkungen auf den Organismus
 - 1. Tierexperimentelle Ergebnisse und Untersuchungen zur Zytotoxizität
 - 2. Epidemiologie
 - a) Beziehungen zwischen Exposition und röntgenologischen sowie pathologischen Befunden
 - b) Beziehungen zwischen Exposition und kardiorespiratorischer Funktion
- VII. Beziehungen zwischen Exposition und Silikosehäufigkeit
- VIII. Empfehlungen
- IX. Forschungsmöglichkeiten

I. Einleitung

"Proxima morti poena metalli coercitio" äußerte bereits der oströmische Kaiser JUSTINIAN. HIPPOKRATES (460-377 v. Chr.) und später auch PARACELSUS (1493-1541) beschrieben neben anderen Autoren Luftnot, Husten, Keuchen und Schwindsucht der Bergleute, wobei PARACELSUS die Ursachen schon in verdorbener Luft und verschiedenen Arten von Nebeldünsten sah. Bereits AGRICOLA (1494-1555) erkannte den Staub als Mitursache der Berufserkrankung der Joachimstaler Bergleute und empfahl die Frischluftzufuhr im Untertagebergbau als Staubbekämpfungsmaßnahme. 1672 fand YSBRAND VAN DIEMERBROECK (1609-1674) die Lungen dreier Steinmetze voll von Stein-
staub (pulvis lapidum) und führte dies auf eine Aufnahme durch Inspiration aus der Luft zurück. LINNÉ schilderte unter dem Namen "Orsa Krankheit", daß die Lebenserwartung derer, die ihren Lebensunterhalt durch Herstellen von Schleifsteinen bestritten, selten über 20, 30 oder 40 Jahren lag, was zur Folge hatte, daß manche Frauen mit sechs bis sieben Männern verheiratet waren (nach REICHEL 1976). 1866 gelang es KUSSMAUL, Kieselsäure in der Lunge nachzuweisen. VISCONTI gab der Lungenerkrankung durch Kieselsäure den aus der lateinischen Bezeichnung für Feuerstein, i.e. silix, abgeleiteten Namen "Silikose" (nach ZISKIND et al. 1976).

Wenngleich also der Zusammenhang zwischen Steinstaubexposition und schweren, oft tödlich verlaufenden Lungenerkrankungen bereits seit Jahrhunderten bekannt ist (COLLIS 1915 - nach REICHEL 1976 - will an zwei prähistorischen Leichen bereits Hinweise für eine Silikose erkannt haben; RUFER 1921 und SHAW 1938 - nach REICHEL 1976 - beschreiben anthrakotische und emphysematöse Lungenveränderungen an ägyptischen Mumien), berichten DESSAUER et al. 1972, daß die Anthrakosilikose im Bergbauggebiet Pennsylvaniens noch 1971 die fünfthäufigste Todesursache von Männern über 65 Jahren war. Abbildung 1 zeigt Dauerrentenfälle, Todesraten und Gesamtgefährdung

durch Anthrakosilikose, verglichen mit dem Arbeitsunfallrisiko bei pennsylvanischen Bergleuten (bereits nach den unterschiedlichen Inkohlungsgraden der auf den Zechen gewonnenen Kohle aufgeschlüsselt) in den Jahren 1935-1969.

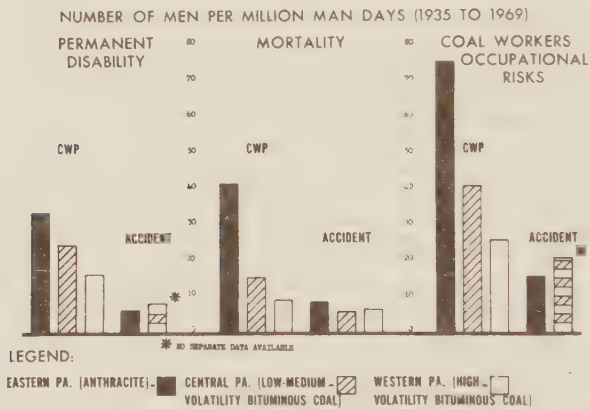


Abb. 1: Anthrakosilikose und Arbeitsunfallrisiko bei Bergleuten Pennsylvaniens nach: DESSAUER et al. 1972

Die Mortalität infolge Anthrakosilikose lag nach DESSAUER und Mitarbeitern also 3,4 mal höher als die Sterblichkeit infolge von Arbeitsunfällen, und das selbst bei einer im Vergleich zu anderen Gewerbezeigen hohen Frequenz von Arbeitsunfällen im pennsylvanischen Kohlenbergbau zwischen 1958 und 1967, wie aus Abbildung 2 hervorgeht.

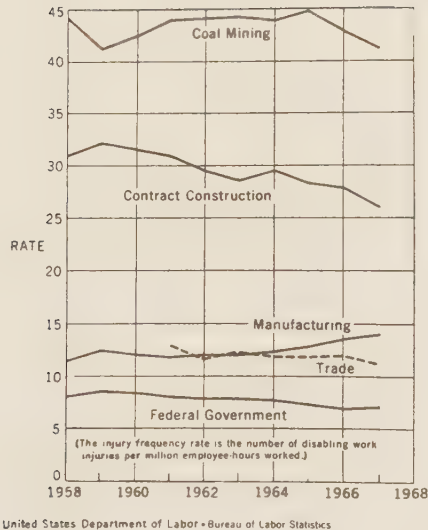


Abb. 2: Die Arbeitsunfallrate in ausgewählten unterschiedlichen Industriezweigen und Arbeitsbereichen von 1958-1967
nach: DESSAUER et al. 1972

Bei der Auswertung us-amerikanischer Sterbestatistiken fand ENTERLINE 1972 eine um das 1,6-1,9 fache höhere Mortalität bei Kohlenbergarbeitern. Selbst als er die Zahlen hinsichtlich der Todesfälle infolge kardiorespiratorischen Versagens bereinigte, blieb eine um 1,4-1,7 mal höhere Todesrate bei Bergleuten im Vergleich zur Gesamtbevölkerung, was den Autor vermuten läßt, daß Bergleute infolge ihrer pulmonalen Vorbelastung an Krankheiten, die nicht das kardiorespiratorische System betreffen, eher versterben, als nicht Quarzstaub-

exponierte. Im Vergleich der einzelnen Berufsgruppen zeigte sich die höchste Mortalität bei Kohlenbergarbeitern.

Angesichts dieser eindeutig vitalen Gefährdung der Menschen durch Quarz oder quarzhaltige Mischstäube sind zahlreiche Staubbekämpfungs- und Silikoseforschungsprogramme ins Leben gerufen worden, deren undankbares Fatum es ist, infolge der in der Regel langen Entwicklungszeit der Silikose, erst nach Jahrzehnten meßbar wirksam zu werden. So beeinflussen Staubbelastungen aus der ersten Hälfte des Jahrhunderts unsere heutigen Statistiken und geben leicht Anlaß zu Fehleinschätzungen des Silikoserisikos unter aktuellen gewerbehygienischen Bedingungen. Nach WOHLBEREDT 1983 haben Bergleute, die heute zur Entschädigung kommen, die Silikose hauptsächlich in den Nachkriegsjahren erworben. Bergleute, die heute ad exitum kommen, wurden etwa 1905 geboren und haben die Arbeit in den 20er Jahren aufgenommen. So offenkundig sich die Notwendigkeit von Staubbekämpfungsmaßnahmen und gesetzlich festgelegten Staubgrenzwerten darstellt, so eindeutig meßbar ist deren Effektivität in den Ländern, die konsequent die Reduktion der durchschnittlichen Staubbelastung der exponierten Arbeiter verfolgten. So konnte MC LINTOCK 1972 einen deutlichen Rückgang der Inzidenz als Berufskrankheit anerkannter Silikosen in Großbritannien innerhalb der letzten 20 Jahre verzeichnen. Abbildung 3 zeigt neben den Schwankungen der Inzidenz infolge gesetzgeberischer und rentenrechtlicher Änderungen den deutlichen Rückgang der Häufigkeit der Anthrakovsilikose in den letzten Jahrzehnten, wobei sich eine Stagnation zum Ende der sechziger Jahre andeutet.

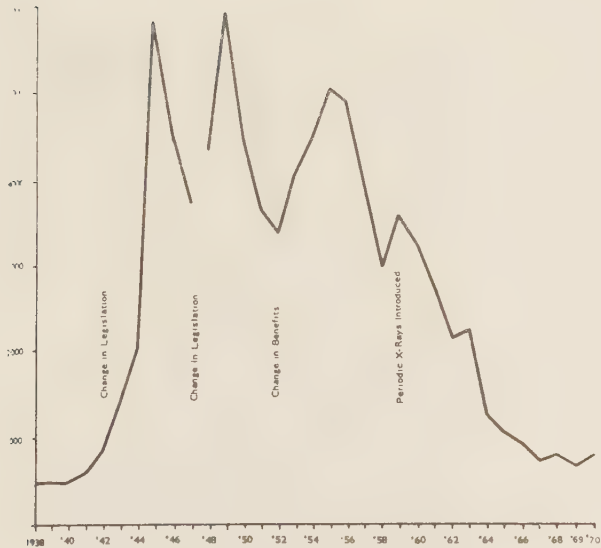


Abb. 3: Die Diagnosen von Silikosen oder Pneumokoniosen von Kohlenbergarbeitern zu Rentenzwecken in Großbritannien von 1938-1970
nach: MC LINTOCK 1972

Ähnliches berichtete GLICK 1982 über 14 500 Bergleute des australischen Bergbauggebietes in New South Wales. Die Inzidenz der Kohlenbergarbeiterpneumokoniose sinkt seit 1948, während das Manifestationsalter steigt. 1971 wurde dort kein neuer Fall von progressiver massiver Fibrose (i.e. Stadium 2 A nach ILO-Klassifikation) mehr registriert. In der Bundesrepublik Deutschland zeichnet sich nach WOHLBEREDT 1983 im Steinkohlenbergbau die Wirksamkeit von Staubbekämpfungsmaßnahmen infolge Änderungen in der Gesetzgebung auf fast identische Weise ab, wie Abbildung 4 deutlich belegt.

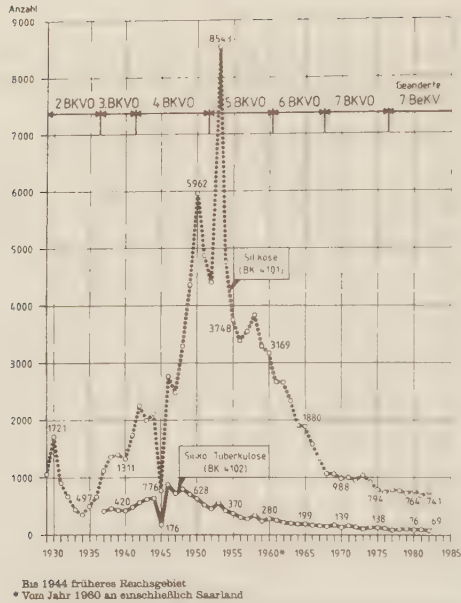


Abb. 4: Zahlenmäßige Entwicklung der erstmals ent-
schädigten Silikosefälle in der Bundesrepu-
blik Deutschland

nach: WOHLBEREDT 1983

Abbildung 5 zeigt anhand dreier Steinkohlengebiete der Bun-
desrepublik Deutschland die weitere Rückläufigkeit der Sili-
koseinzidenz, wenn sie auf die Anzahl der zur Zeit der Ent-
stehung dieser Silikosen unter Tage tätigen Bergleute bezogen
wird.

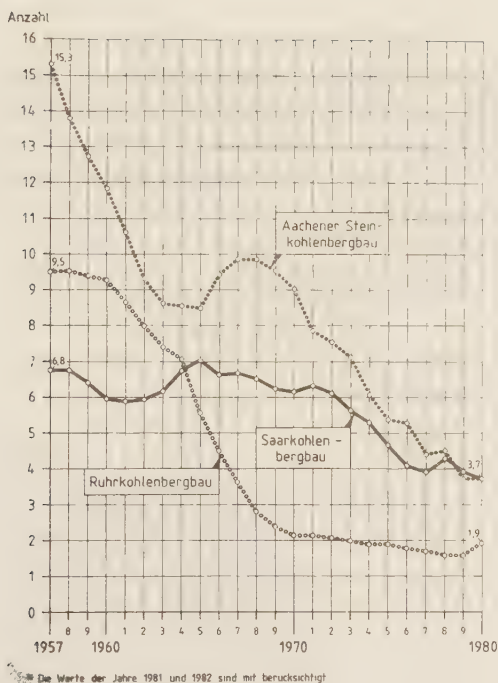


Abb. 5: Erstmals entschädigte Silikosefälle in drei Steinkohlengebieten je 1000 während der Expositionszeit dieser Fälle unter Tage tätige Personen

nach: WOHLBEREDT 1983

Zwar ist das Manifestationsalter der Anthrakovsilikose bei Kohlenbergarbeitern in der Bundesrepublik Deutschland in den letzten 20 Jahren etwa konstant geblieben, jedoch zeigt sich ein deutlich anhaltender Anstieg der Rentenlaufzeit, i.e. der Lebenserwartung Silikosekranker, wie aus Abbildung 6 ersichtlich wird. Nun entsteht der Wert der leicht über der Lebenserwartung nicht silikosekranker Bergleute stehenden

Lebenserwartung von Silikosekranken durch den Ausschluß anderer Todesursachen bei der Berechnung, jedoch kann dieser Parameter eine Vorstellung von der Effektivität von Staubbekämpfungsmaßnahmen in der Nachkriegszeit und der zunehmend verbesserten und intensiveren medizinischen Versorgung vermitteln.

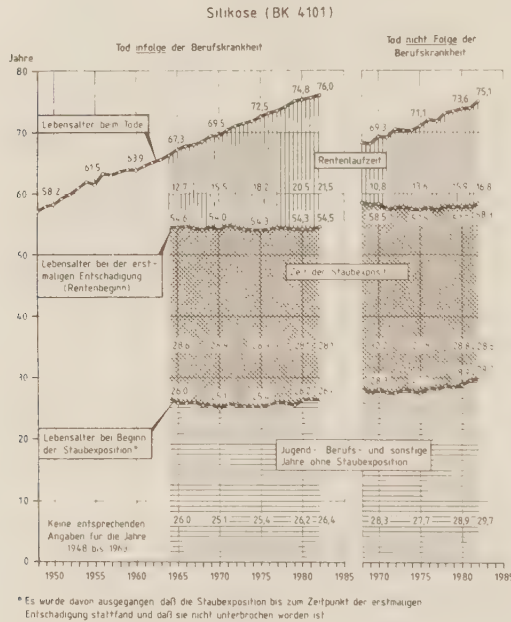


Abb. 6: Schematische Darstellung des Lebensablaufs von verstorbenen Silikose-Rentnern der Bergbau-Berufsgenossenschaft nach: WOHLBEREDT 1983

Die günstigeren Umweltbedingungen unter Tage bewirkten aber nicht nur einen quantitativen Rückgang der Silikose, ebenso ist auch in der Bundesrepublik Deutschland eine Reduktion des Schweregrades erkennbar. Nimmt man die zu Rentenzwecken erfolgte Einschätzung der Minderung der Erwerbsfähigkeit infolge Silikose als Maß der Gesundheitsschädigung, so läßt sich im Mittel in den letzten 20 Jahren eine deutlich rückläufige Tendenz erkennen.

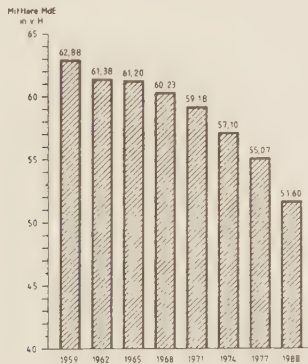


Abb. 7: Mittlere Minderung der Erwerbsfähigkeit der Silikoserentner der Bergbau-Berufsgenossenschaft der Bundesrepublik Deutschland
nach: WOHLBEREDT 1983

Insgesamt ist also eine geringere Inzidenz und ein milderer Verlauf der heutzutage auftretenden Kohlenbergarbeiterpneumosen zu verzeichnen. Trotzdem darf nicht vergessen werden,

daß sich hinter diesen Zahlen die Schicksale tausender Bergleute und ihrer Angehörigen verbergen. Allein in der Bundesrepublik Deutschland wurden 1980 21 976 Bergleute wegen einer Silikose entschädigt. Auch die nicht zu unterschätzende volkswirtschaftliche Belastung - in den Jahren 1980/82 zahlte allein in der Bundesrepublik Deutschland die Bergbau-Berufsgenossenschaft Silikoserenten in Höhe von 2,3 Mrd. DM an Rentner und Hinterbliebene - sollte weiterhin zur konsequenten Senkung des Silikoserisikos Anlaß geben. Oberstes Ziel aller arbeitshygienischen Bemühungen sollte es deshalb sein, das Risiko einer Gesundheitsschädigung auszuschalten, oder, wo dies nicht erreichbar scheint, so gering wie eben möglich zu halten. Wie im folgenden noch eingehend belegt werden wird, ist die Silikosehäufigkeit unter anderem eng mit der am jeweiligen Arbeitsplatz herrschenden Konzentration von Quarz- oder Quarzmischstäuben und der Gesamtstaubmenge korreliert, der ein Arbeiter während seines Arbeitslebens ausgesetzt war. Als ein wesentlicher Schritt zur Senkung des Silikoserisikos erscheint demnach die Ermittlung einer als möglichst risikofrei erachteten Staubgrenzkonzentration am Arbeitsplatz. Dazu werden in der vorliegenden Arbeit durch Zusammenfassung experimenteller und epidemiologischer Daten Empfehlungen entwickelt, welche den Regierungen der einzelnen Länder bei der gesetzlichen Festlegung der national gültigen Staubgrenzwerte, dem zweiten - politischen - Schritt des "standard setting", als Bemessungsgrundlage des gesundheitlichen Risikos dienen sollen.

II. Quarz- und Quarzmischstäube, Definition und Vorkommen

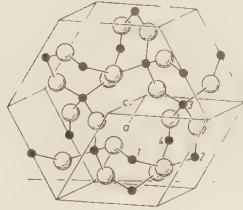


Abb. 8: Kristallstruktur der SiO_2 -Modifikation
Quarz

nach: KLOCKMANN 1978

Der größte Teil der Erdkruste besteht aus Silizium und Sauerstoff, wobei das Silizium in der Anorganik eine ähnliche Rolle spielt, wie der Kohlenstoff in der Organik. Quarz, die häufigste aller SiO_2 -Modifikationen und das häufigste aller Minerale überhaupt, ist, hart und farblos, Bestandteil vieler Gesteinsarten, so z.B. des Granits oder des Sandsteins. Er kann entweder Hauptbestandteil oder lediglich Matrix eines Gesteins sein, in welche das Hauptgemenge eingebettet liegt. Tritt die SiO_2 -Modifikation Quarz in reiner Form auf, so spricht man im angelsächsischen Sprachraum von "free silica", reiner Kieselsäure; wird die Struktur durch Kationen "verunreinigt", spricht man von Silikaten (nach ZISKIND et al. 1976). Unter bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen entstehen SiO_2 -Modifikationen von unterschiedlichem Kristallisationsgrad und unterschiedlicher Silikogenität.

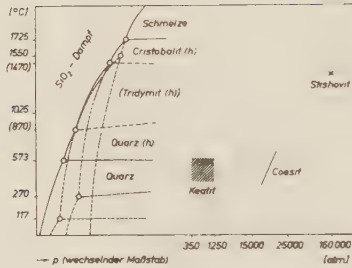


Abb. 9: Phasendiagramm von SiO_2 unter erzwungenem
äußeren Druck

nach: KLGCKMANN 1978

Es entstehen die hexagonalen Kristalle Quarz und Tridymit, sowie das kubische Cristobalit. Wesentlicher Baustein dieser Kristalle ist der SiO_4 -Tetraeder, wobei jedes Sauerstoffatom die Ecke eines Tetraeders bildet. Eben diese Tetraederform wird für die Silikogenität der Modifikationen verantwortlich gemacht (TLV der AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL AND INDUSTRIAL HYGIENISTS, ACGIH, 1971). Wobei das aus Oktaedern zusammengesetzte Stishovit allgemein für inert gehalten wird. Ebenfalls, wenn nicht als inert, so doch als äußerst gering silikogen, gilt nach REICHEL 1976 die nicht kristalline, also amorphe Kieselsäure, wie z.B. Opal, bei dem keine Kristallstrukturordnung erkennbar ist.

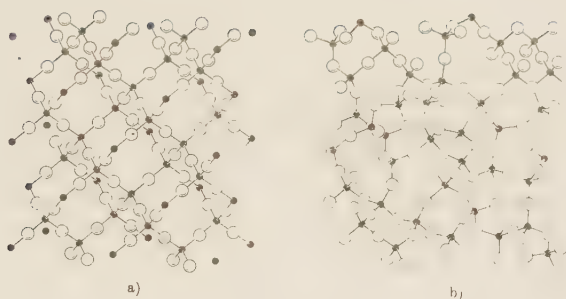


Abb. 10: a) Regelmäßige Anordnung der SiO_4 -Tetraeder im Cristobalit

b) Unregelmäßige Anordnung der SiO_4 -Tetraeder im Quarzglas

nach: KLOCKMANN 1978

Kleinere Kristallpartikel können polarisationsmikroskopisch identifiziert werden; Mischstäube können erfolgreich röntgendiffraktometrisch untersucht werden, wenn die Probe mehr als 200 g Quarz enthält; enthält die Probe weder Silikate noch amorphe Kieselsäure, so kann Quarz kolorimetrisch nach Waschungen der Proben mit HCl und HF nachgewiesen werden; die Infrarotspektrophotometrie gilt ebenfalls als Nachweismethode für SiO_2 (nach ZISKIND et al. 1976).

Seit der Vorgeschichte machen sich Menschen die besonderen Eigenschaften des SiO_2 zunutze, noch heute werden die harten und hitzeresistenten Eigenschaften in der Töpferei und Porzellanindustrie geschätzt. Moderne Abbaumethoden und industrielle Verarbeitungen haben jedoch das Risiko, silikogenem

Staub ausgesetzt zu werden, erheblich erhöht. So konnten bei Wüstenbewohnern, die in ihrem Leben häufig Sandstürmen ausgesetzt waren, die über 80 % Quarz enthielten, auch pathologisch keinerlei Hinweise für die Entstehung einer Silikose gefunden wurden (ZISKIND 1976), so kann z.B. in Gießereien unter großer Hitzeeinwirkung aus inerter amorpher Kieselsäure hochsilikogenes Cristobalit entstehen, welches nach REICHEL 1976 unter ungünstigen Bedingungen tödlich verlaufene akute Silikosen verursacht hat.

Gesteine und Mineralien

1. Quarz, Cristobalit, Tridymit
Feuerstein, Achat, Opal, Chalcedon
2. Granit, Quarzporphyr, Quarztrachit, Trass, Gneis
3. Sandstein, Quarzit, Grauwacke, Schiefer,
Kieselkreide, Sand
4. Kieselgur, Diatomeenerde
5. Erzgesteine
6. Kohlegesteine, Graphit
7. Flußspat
8. Bauxit, Kaolin

Industriestäube und -dämpfe

1. Porzellan- und Steinerzeugung
 2. Feuerfeste Steine: Chamotte, Dina- und Silikat-
steine
 3. Schlacken- und Steinwolleprodukte
 4. Glas- und Emailleverarbeitung, Quarzglas-
schmelzen
 5. Zementerzeugung
 6. Kesselsteinstaub
 7. Gießereistaub
 8. Gichtgase
 9. Aerosilrauche
-

Tab. 1: Zur Silikose oder Mischstaubpneumokoniose
führende kieselsäurehaltige Gesteine, Mine-
ralien und Industriestäube

nach: REICHEL 1976

Eher selten ist das Vorkommen reiner Quarzstäube, häufig wird in Mischstäuben die Schädlichkeit der freien Kieselsäure durch Begleitminerale beeinflusst. Art und Ausmaß dieses Einflusses sind nur wenig erforscht. Je nach Zusammensetzung des Begleitmineralanteils können für bestimmte Mischstäube typische Krankheitsverläufe beobachtet werden. So ist z.B. von der Herstellung von Chamottesteinen bekannt, daß bei der Verarbeitung von sauren, kiesel-säurereichen Steinen eine nach röntgenologischer Ausprägung und Entwicklungsdauer völlig unterschiedliche Pneumokoniose entsteht, als bei der Produktion basischer, meist sehr tonhaltiger Steine (REICHEL 1976). Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die bekanntesten berufsspezifischen Silikosen.

Erkrankung	Vorkommen	Zusammensetzung der Stäube	Quarzgehalt des Feinstaubes
<i>A. Silikosen</i>			
1. Silikosen der Stollenmineure im quarzreichen Gestein			
a) Silikosen der Goldmineure	Bergmännische Gewinnung und Verarbeitung	Je nach Art der Lagerstätte verschieden	50 — 90%
b) Mineursilikosen des Alpengebietes	Tunnelbau	Je nach Art der Lagerstätte verschieden	Je nach Art des Gesteins
2. Silikosen der Steinhauer, Steinmetze,	Bearbeitung und Gewinnung quarzhaltiger Mineralien, s. Tabelle 1, S. 159	Je nach Art der Lagerstätte verschieden	Je nach Art des Gesteins bis 80%, meist wesentlich niedriger
3. Arbeiter des Steingewerbes und Beschäftigte in Steinbrüchen	s. Steinhauer-Silikose		
4. Silikosen in Seifen- und Scheuerpulverfabriken	Herstellen, Mischen und Verpacken	Quarzmehl, Kieselkreide, Soda	Je nach Art der Beimischung bis 80%
5. Silikosen bei Sandstrahlern und Schleifern	Sandstrahlgebläse, Schleifsteine aus Natur-sandstein, Schleifpapier, Schleifpasten		
6. Kieselgursilikosen	Beim Erhitzen der Diatomeenerde (Kieselgur) auf ca. 1250° C entsteht aus der silikogen wirkenden amorphen Kieselsäure Cristobalit	82% amorphe Kieselsäure, 12,4% H ₂ O, 4,2% Aluminium und Eisenoxyd, Rest Kreide und Magnesiumoxyd	Beim Erhitzen über 1000° C bis zu 82% Cristobalit

Erkrankung	Vorkommen	Zusammensetzung der Staube	Quarzgehalt des Feinstaubes
<i>B. Die Mischstaubpneumokoniosen</i>			
1. Kohlenbergarbeiter- pneumokoniose	Kohlenbergbau	Durchschnittswerte im Kohlenstreb 63 - 91% Kohle 8 - 33% Ton 4,1% Quarz	2,2 - 2,9%
2. Graphitstaublung	Bergmännische Gewinnung und Verarbeitung, Graphitmüller		3 - 10%
3. Pneumokoniosen der Metall- industrie	Gießer, Putzer, Former	Eisenoxyd oder andere Metalloxyde, Quarz	2 - 20%
4. Pneumokoniosen des Erz- bergbaues (Mansfelder Staublung, Schneeberger Lungen-Ca.)	Blei-, Zink-, Silber-, Kupfergruben, Uranerzbergbau etc.	Je nach Art der Lager- stätte verschieden	bis 20%
5. Pneumokoniosen der kerami- schen Industrie	Porzellanstaub	Kaolin, Feldspat, Quarz	15 - 20%
6. Pneumokoniosen bei Ver- arbeitung und Herstellung von feuerfesten Steinen	Ofenmaurer, Chamotte- arbeiter, Silikaarbeiter, Verarbeitung von Kiesel- säure und silikathaltigem Ton, Herstellung feuer- fester Töpfe (Hafen- macher)		Quarz, Cristobalit, Tridymit 1 - 70%
7. Pneumokoniosen in der Erd- und Ockerfarbenindustrie	Erdfarbenindustrie	Verwitterungsprodukte eisenoxydhaltiger Feld- spatarten, Kieselsäure	8 - 38%
8. Flußspat-Pneumokoniosen	Bergmännische Gewinnung und Verarbeitung	Silikate, Fluorkalzium, freie Kieselsäure	bis 30%
9. Pneumokoniosen in der Zementindustrie	Bearbeitung des Roh- materials	Zement - Rohmaterial: 57 - 66% Kalk 19 - 26% Quarz 2 - 4% Tonerde 4 - 10% Eisenoxyd	
	Abbrucharbeiten im Beton	Beton: Zement und Sand	

Tab. 2: Übersicht über die bekanntesten
berufsspezifischen Silikosen und
über die auf quarzhaltige Mischstäube
zurückgehenden Pneumokoniosen
nach: REICHEL 1976

Am besten untersucht scheint der Einfluß der Begleitminerale auf die Silikoseentstehung im Kohlenbergbau zu sein. Hier wurde schon seit längerer Zeit ein Einfluß des Mineralanteils auf die Silikogenität der Grubenstäube beobachtet. Tabelle 3 zeigt als Beispiel für eine mögliche Zusammensetzung eines Kohlengrubenstaubes die von REISNER (1981) durchgeführte infrarotspektroskopische Mineralanalyse von grubenechten BAT II-Feinstäuben aus dem Saarrevier.

Fein- staub- probe	Anteil am ungewaschenen Feinstaub in Gew.-%											Spezifische Oberfläche m ² /g
	Asche		Quarz	Illit — Muskowit		Kaolinit		Montmo- rillonit B	Feld- spat	Karbo- nate	Anhy- drit	
	380 °C	700 °C		A	B	A	B					
TF5	88,8	87,4	14,7	45,3	44,4	16,2	9,1	7,1	2,8	0,9		6,21
O110	80,5	70,1	6,8	35,5	40,3	13,7	8,5	8,1	3,0	1,4	1,6	5,80
O120	71,5	63,5	7,3	28,7	30,7	13,8	10,7	7,2	3,3	1,4	0,4	4,33
O210	68,4	65,0	5,5	41,8	35,7	16,5	9,1	10,8	3,4			4,93
O220	57,2	53,8	7,0	32,6	27,5	13,4	8,2	9,0	2,2			3,98
U110	51,1	47,5	5,4	26,2	23,2	12,3	8,6	8,4	1,9	3,3		4,90
U120	51,1	47,7	7,3	24,9	19,7	11,3	8,4	7,9	2,3	3,4		3,75
W110	54,0	51,6	5,3	25,5	26,5	11,7	7,1	6,5	1,5	1,2	1,5	5,11
W120	52,1	44,2	5,9	21,9	22,9	10,6	7,3	3,6	1,6	0,9	2,1	4,21
W210	73,9	69,7	6,9	39,3	39,9	15,0	8,7	8,1	2,6	1,0	1,1	5,23
W220	74,9	65,9	9,0	33,6	36,7	14,7	11,2	5,2	2,5	1,1		3,89
X110	59,9	51,8	5,2	29,0	28,8	12,3	9,0	4,8	2,1	0,9		5,69
X120	46,6	42,6	5,2	21,4	22,4	10,1	7,9	4,7	2,3	1,5	0,2	3,74
Y110	74,8	69,7	7,5	38,8	37,4	13,6	9,0	8,2	2,8	0,6	0,7	6,15
Y120	70,8	70,3	9,1	34,8	35,4	13,8	8,5	6,4	3,1	0,1		4,21
Y210	86,6	82,2	9,3	36,4	38,1	16,7	12,1	10,4	5,0	0,9		5,88
Y220	84,7	79,6	11,3	32,5	33,9	16,2	14,4	12,7	4,5	0,6	0,4	4,58
Y310	69,2	67,9	6,0	30,7	32,5	12,8	9,5	6,2	1,7	1,2	8,3	6,29
Y320	64,7	62,6	7,5	23,9	25,2	11,1	9,1	11,0	2,0	1,0	5,2	4,47
Z110	56,7	53,6	4,3	30,6	28,9	14,7	7,4	5,7	2,8	1,0		5,04
Z121	44,1	42,4	5,2	17,5	18,5	11,4	9,3	3,5	2,3	0,6	0,4	3,86
Z122	50,4	49,6	6,5	26,0	26,2	12,7	10,1	1,0	2,9	1,2		3,91
Z210	80,7	77,5	6,3	42,2	44,4	18,6	14,1	6,5	4,0	0,7	1,6	6,44
Z220	79,0	75,7	10,4	43,8	45,0	14,1	12,0	2,0	4,2	1,1		4,30
Z310	85,6	79,8	8,2	42,7	45,4	17,5	11,8	8,6	3,3	1,2		5,04
Z320	85,0	79,9	12,2	40,1	42,0	14,4	12,0	3,0	5,2	1,5		4,01
Z410	86,9	83,3	6,2	42,1	41,3	17,2	10,4	7,0	3,0	1,1	0,9	4,55
Z420	65,5	56,3	6,7	28,4	27,5	13,3	9,8	9,8	2,5	0,8	0,3	3,98

Tab. 3: Ergebnisse der infrarotspektroskopischen Mineralanalyse und spezifische Oberfläche der Feinstäube im Saarrevier

nach: M.T.R. REISNER 1981

Selbstverständlich schwanken die Zusammensetzungen der Begleitmineralstäube erheblich zwischen den einzelnen Vorkommen. Über den genaueren Einfluß der Begleitminerale auf das Silikoserisiko siehe weiter unten.

In den letzten Jahren hat sich die Vorstellung durchgesetzt, daß unterschiedliche Silikogenität von Feinstäuben durch unterschiedliche Bedeckung der freien Quarzoberfläche mit Begleitmineralien zu erklären ist. NEBE und STRÜBEL fanden 1983 bei rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von mit dem Probenahmegerät BAT II gesammelten Feinstäuben eine teilweise Bedeckung der Quarzoberfläche mit Tonmineralien und Kohle, gelegentlich auch Verwachsungen mit Karbonaten. Natürlich vorkommende Quarzkörner fanden sie in der Regel rund, während durch Zerkleinerung beim Abbau offenbar kantige Quarzkörner entstehen.

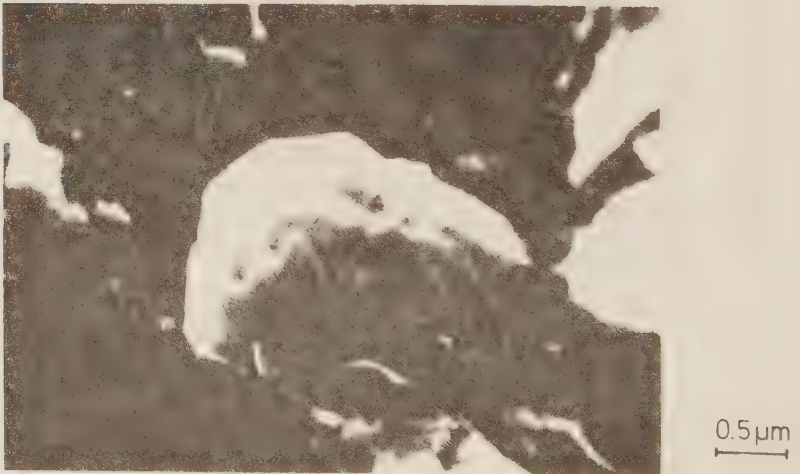


Abb. 11

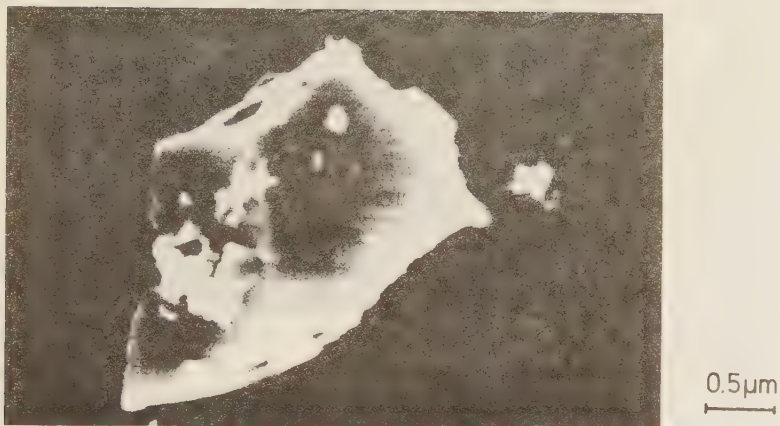


Abb. 12

Abb. 11: Kantengerundetes Quarzkorn, wie es
häufig in Grubenstaub vorkommt
REM-Aufnahme 20 000fach

Abb. 12: Durch Zerkleinerung entstandenes kan-
tiges Quarzkorn
REM-Aufnahme 20 000fach
nach: NEBE und STRÜBEL 1983

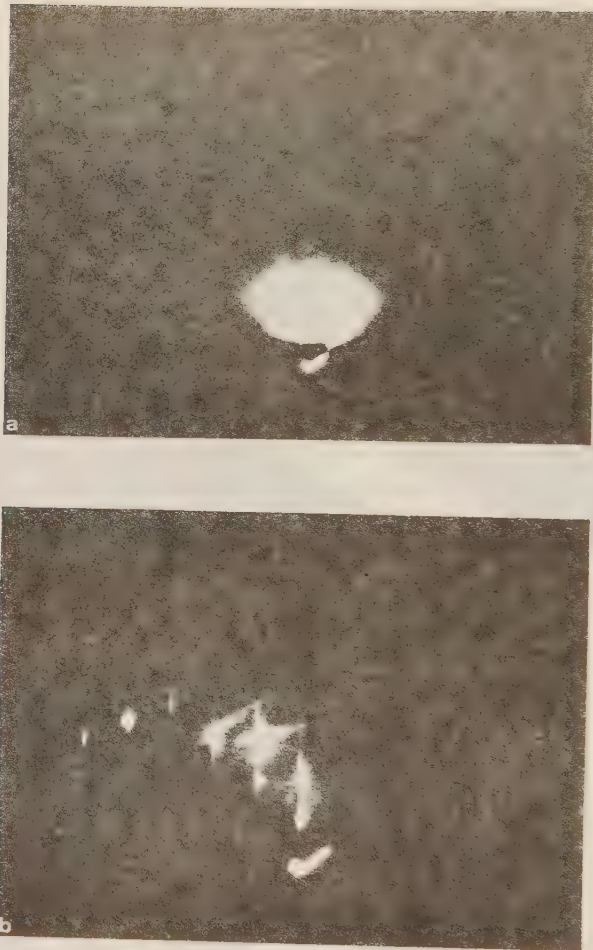


Abb. 13: Röntgendiffraktometrischer Nachweis der Bedeckung der Quarzoberfläche durch Begleitmineralien

- a) mit den Auflösungsprodukten mineralischer Steinkohlenstoffe behandelter Quarz,
- b) mit Wasser unter den gleichen Bedingungen behandelter Quarz

nach: LE BOUFFANT 1977

III. Inkorporation, Retention und Deposition von Stäuben

Stäube gelangen mit der Atemluft in den menschlichen Respirationstrakt. Dabei werden Staubpartikel in Abhängigkeit von Korngröße, Strömungsgeschwindigkeit und anatomischen Gegebenheiten bereits in Nase, Mund, Pharynx, Larynx, Trachea, Bronchien und Bronchiolen aller Generationen abgeschieden. Ein bestimmter, noch näher zu definierender Teil gelangt schließlich bis in die Alveolen.

Der Gesamtquerschnitt der Atemwege nimmt zur Peripherie erheblich zu, was dort eine deutliche Strömungsverlangsamung der Atemluft zur Folge hat. Werden bei größeren Partikeln und höheren Strömungsgeschwindigkeiten Trägheitskräfte, insbesondere an den Verzweigungsstellen, die einen Richtungswechsel der Luft erzwingen, als Abscheidemechanismus wirksam (Impaktion), so herrschen weiter peripher bei langsameren Strömungsgeschwindigkeiten Sedimentationsabläufe vor. Eine Vorstellung möglicher Abscheidemechanismen soll Abbildung 14 vermitteln.

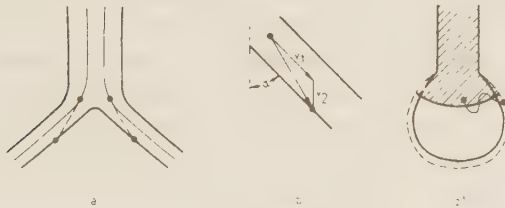


Abb. 14

Abb. 14 a-c: Ursachen für Teilchenabscheidung
in den Atemwegen.

- a) Trägheitskräfte bei Richtungswechsel,
- b) Sedimentation bei geneigter Lage des
Bronchus,
- c) Diffusion an die Alveolenwand für
Partikel $< 0,5 \mu\text{m}$

nach: WALKENHORST 1976

Staubpartikel aus Trachea, Bronchien, Bronchiolen bis hin zu den Bronchioli alveolares werden via Flimmerepithel zum Larynx befördert. Alveolar deponierter Staub wird entweder, von Alveolarmakrophagen phagozytiert, Richtung Bronchioli befördert, oder, nach Penetration ins Lungeninterstitium, auf lymphatischem Wege abtransportiert (nach RASCHE 1976). Zur Abschätzung der bronchopulmonalen Clearancekinetik beobachteten BAILEY und Mitarbeiter 1982 die Retention von radioaktiv markiertem Aluminiumsilikat an freiwilligen Versuchspersonen. Monodisperse, unlösliche Partikel von $1,2 \mu\text{m}$ und $3,9 \mu\text{m}$ wurden inhaliert. Dabei ließen sich drei Clearancephasen unterscheiden: eine etwa 24 Stunden währende schnelle Phase, in der im Mittel 4 % der $1,2 \mu\text{m}$ -Partikel und 40 % der $3,9 \mu\text{m}$ -Partikel eliminiert wurden, und welche als Phase der "Totraumclearance" gedeutet wurde; eine Phase mittlerer Dauer (in diesem Fall ~ 20 Tage), bei der durchschnittlich 4 % der $1,2 \mu\text{m}$ - und 11 % der $3,9 \mu\text{m}$ -Partikel eliminiert wurden; die langsame Phase dauerte bei beiden Partikelgrößen mehrere hundert Tage. Diese Ergebnisse geben, im Einklang mit STAHLHOFENS Beobachtungen 1980, keinerlei Hinweise auf eine schnelle Eliminationsphase aus den flimmer-epithelfreien Lungenbezirken. Ebenso unbestreitbar wie der Einfluß physikalischer Eigenschaften und natürlich der Partikelgröße auf Depositionsgrad und Eliminationsgeschwindigkeit von Stäuben, sind die deutlichen interindividuellen

Schwankungen, die auch BOHNING et al. 1982 beobachteten. Bei wiederholter Messung der Langzeitclearance von $3,6\text{ }\mu\text{m}$ durchmessenden, SR-85 markierten Polystyrenpartikeln fanden sie außerdem Hinweise dafür, daß die Langzeitclearance eine stabile Lungenfunktionseigenschaft eines Individuums zu sein scheint. Erhebliche interindividuelle und interexperimentelle Schwankungen geben allerdings Anlaß dazu, die oben genannten Zahlen lediglich als Maß zur Einschätzung der Größenordnungen bronchopulmonaler Clearancekinetiken zu betrachten.

Nur ein Teil des inhalierbaren Staubes scheint also durch längeren Kontakt mit dem Lungenparenchym seine potentielle pathogene Wirkung ausüben zu können. Den längsten Kontakt hat offenbar, nach den oben geschilderten Beobachtungen, derjenige Staubanteil, welcher in flimmerepithelfreie Gebiete vordringen kann. Zur Beurteilung des lungenschädigenden Anteils eines Staubes sollte deshalb die alveolargängige Staubfraktion bestimmt werden. Auf diesem Gebiet haben sich die Vorstellungen infolge intensiver Forschung auch mit modernen Techniken deutlich gewandelt. So bestimmte STAHLHOFEN 1980 die Alveolardeposition von $1\text{ }\mu\text{m}$ bis $10\text{ }\mu\text{m}$ durchmessenden, monodispersen, mit ¹⁹⁸Au markierten Eisenoxydpartikeln und fand dabei ein Depositionsmaximum von Partikeln zwischen 3 und $4\text{ }\mu\text{m}$. Es muß offenbar davon ausgegangen werden, daß nicht der gesamte alveolengängige Staub dort auch abgelagert wird, sondern ein Teil der weniger als $4\text{ }\mu\text{m}$ durchmessenden Partikel auch wieder ausgeatmet werden kann. Abbildung 15 zeigt die Depositionskurven dreier Versuchspersonen unter standardisierten Atembedingungen.

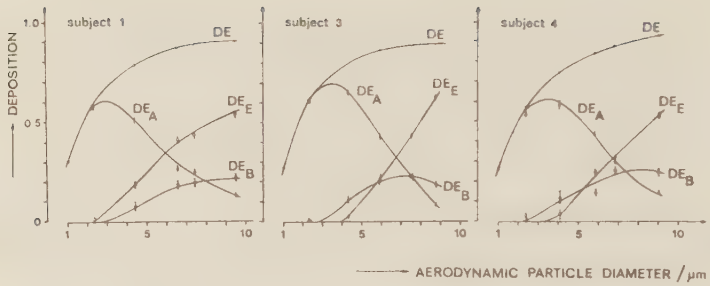


Abb. 15: Totale, DE, extrathorakale, DE_E, tracheo-bronchiale, DE_B und alveoläre Deposition DE_A als Funktion des aerodynamischen Partikeldurchmessers bei drei Versuchspersonen und fixem Atemschema
nach: STAHLHOFEN et al. 1980

Weniger interindividuelle, aber eindeutig atemmechanisch bedingte Unterschiede werden im Vergleich zweier unterschiedlicher Atembedingungen in Abbildung 16 deutlich.

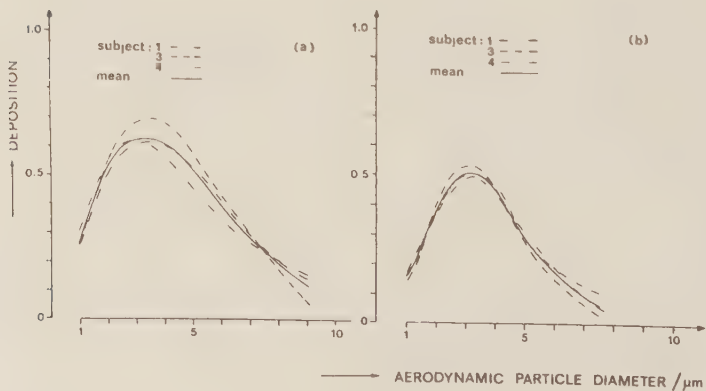


Abb. 16

Abb. 16: Interindividuelle Unterschiede der Alveolardeposition bei zwei verschiedenen Atemparametern

- a) $Q = 250 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$; $V_t = 1000 \text{ cm}^3$; $f = 7,5 \text{ min}^{-1}$
b) $Q = 750 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$; $V_t = 1500 \text{ cm}^3$; $f = 15 \text{ min}^{-1}$

nach: STAHLHOFEN et al. 1980

STAHLHOFEN fand unter Ruheatembedingungen für Partikel mit aerodynamischem Durchmesser kleiner als $2,4 \mu\text{m}$ eine Deposition ausschließlich im Alveolarbereich, und zwar infolge Sedimentation. Bei größeren Strömungsgeschwindigkeiten muß auch in diesem Partikelbereich mit Impaktion gerechnet werden. Die Depositionswahrscheinlichkeit im Alveolarbereich nimmt für größer als $4,5 \mu\text{m}$ aerodynamisch durchmessende Teilchen rapide ab. Die interindividuelle Variationsbreite war bei den untersuchten Personen Überraschend klein. Für die tracheobronchiale Deposition läßt sich eine ähnlich glockenförmige Depositionskurve ermitteln, wie für die Alveolardeposition, wobei die tracheobronchiale Reinigung bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten schneller beendet zu sein scheint als unter Ruheatembedingungen. Sogar die Mundatmung scheint einen effektiven Schutz des Tracheobronchialsystems darzustellen. Zu fast identischen Ergebnissen, trotz völlig unterschiedlicher Versuchsanordnungen, kamen ARMBRUSTER und Mitarbeiter 1981. Sie maßen die Deposition von Staubpartikeln (obere Korngröße von Kohlenstaub $100 \mu\text{m}$, obere Korngröße von Quarzstaub $20 \mu\text{m}$) bei unterschiedlichen Wettergeschwindigkeiten und Atembedingungen mit Hilfe eines an einen Modellkopf angeschlossenen Atemsimulators. Abbildung 17 zeigt eine Darstellungsmöglichkeit der Depositionswahrscheinlichkeiten, die im Idealfall als Mittelwert der tatsächlich intravital stattfindenden Depositionen betrachtet werden kann.

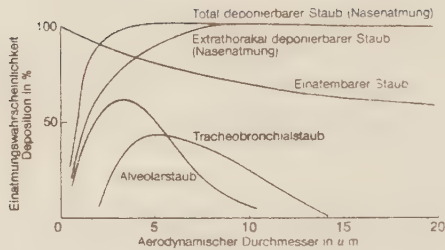


Abb. 17: Kurven für die Inhalationswahrscheinlichkeit Total- und Regionaldeposition
nach: ARMBRUSTER et al. 1981

Da die Fehlerbreite unter diesen Versuchsbedingungen für Partikel, die kleiner als $5 \mu\text{m}$ sind, über 10 % ansteigt, und die Größenordnungen biologischer Variabilität, sowie Stoffeigenschaften, wie z.B. Wasseraufnahme und Korngrößenänderung im Respirationstrakt nach Auffassung der Autoren noch nicht hinreichend erforscht sind, sollten die ermittelten Wahrscheinlichkeiten zunächst kritisch betrachtet werden. In jedem Falle aber scheint das in den letzten Jahren beschriebene Verhalten der Alveolardeposition die tatsächlichen Vorgänge im Alveolarbereich während der Inhalation von Stäuben treffen-der darzustellen, als die Vorstellungen, die sich in der sogenannten "Johannesburger Kurve" widerspiegeln, und welche nach BRUCH 1980 eher den Daten der tracheobronchialen Durchlaßfunktion entsprechen.

Eine eindeutige lineare Beziehung zwischen Staubangebot und Lungenstaubgehalt konnte WELLER 1977 tierexperimentell in Langzeitinhalationstests an Ratten und Rhesusaffen nachweisen. Bei den Rhesusaffen konnten nach bis zu 48 Monaten Versuchszeit Retentionswerte von etwa 50 % gemessen werden; in den Rattenlungen wurden 6-8 % des inhalierten Staubes wiedergefunden. Etwa 1/3 der Gesamtelimination geschah auf dem Lymphweg, der Rest wurde tracheobronchial eliminiert. Bei den Affen wurde ein Transport in paratracheale, aortale, axillare, stellare, ja sogar in mesenteriale Lymphknoten beobachtet.

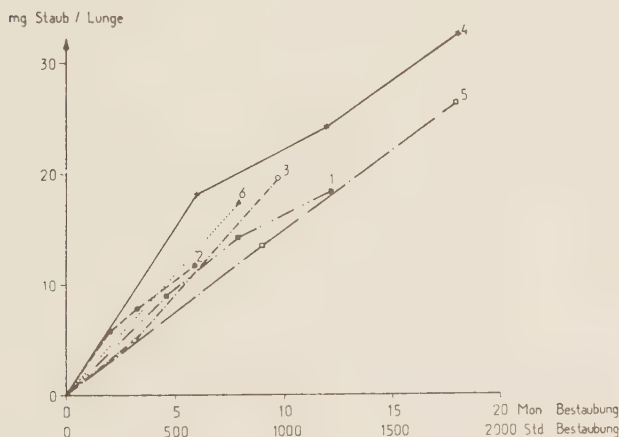


Abb. 18: Staubretention in sechs Langzeit-Inhalationsversuchen mit Ratten, Kohle-Quarz-Gemische unterschiedlicher Konzentrationen und Zusammensetzungen

Daß diese oben beschriebenen physiologischen Verhältnisse im silikotisch und/oder bronchitisch vorgeschädigten Tracheobronchialsystem völlig andere sein können, belegen die Beobachtungen von ROY et al. 1983. Sie fanden bei Silikotikern eine - auch bei Gesunden durch Rauchen verstärkte - Erhöhung der tracheobronchialen und pulmonalen Deposition infolge einer verlangsamten mukoziliaren Reinigungsfunktion (i.e. deutliche Erniedrigung der "short-term" und "intermediate Clearance" bei Silikotikern). In Übereinstimmung damit fanden BOHNING et al. 1982 signifikante Verzögerungen der langsamen Eliminationsphasen bei Rauchern und Probanden mit chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung. Bei Rauchern war die schnelle Clearancephase ebenfalls verlängert. Die gemessenen Clearancewerte hängen im wesentlichen von der Funktionstüchtigkeit des Flimmerepithels und der Phagozytoseleistung der Alveolarmakrophagen ab (RASCHE 1976). ULMER wies bereits 1970 auf den negativen Einfluß des Zigarettenrauchens auf chronisch obstruktive Atemwegserkrankungen mit Emphysem hin, welche infolge vermehrter Staubexposition auftraten. HEPPLESTON bemerkte 1982, daß Stäube bei silikotisch vorgeschädigter Lunge weiter peripher deponiert werden, als bei gesunden Lungen. YEATES 1982 berechnete mit Hilfe der experimentell ermittelten Lungendeposition und trachealen Mukustransportraten von radioaktiv markierten $7,9\mu\text{m}$ -Aerosol die Mukustransportraten in Bronchi höherer Generationen an gesunden Probanden. Dabei erkannte er als depositionsbeeinflussende Parameter Länge und Durchmesser der Atemwege, Aufzweigungswinkel, Neigung und Alveolengröße. Auch er beobachtete erhebliche inter- und intra-individuelle Unterschiede von Clearance- und Depositionsraten.

Zusammenfassend gelangt also nur ein geringer Teil des eingeatmeten Staubes in die Lungenregionen, in denen sie - wie weiter unten noch zu zeigen sein wird - hauptsächlich während

längerer Verweilzeit gewebsschädigend wirksam werden können. Einen wesentlichen Einfluß auf die letztlich deponierte Staubmenge scheinen natürlich neben der insgesamt inhaliierten Staubmasse anatomische Verhältnisse des Respirationstraktes und die individuell bedingte Kapazität der bronchopulmonalen Clearance-mechanismen zu besitzen. Wobei die kontinuierliche Zufuhr von die Clearancekapazität überschreitenden Staubmengen eine bronchopulmonale Retention zur Folge haben muß. Obgleich die verschiedenen Untersucher erhebliche intra- und interindividuelle Unterschiede vorfanden, zeichnete sich für die alveoläre Deposition ein Wahrscheinlichkeitsmaximum zwischen dem aerodynamischen Partikeldurchmesser von 3 und 4 μm ab. Unterhalb und oberhalb dieser Werte sinkt diese Depositionswahrscheinlichkeit rapide.

IV. Staubeßverfahren

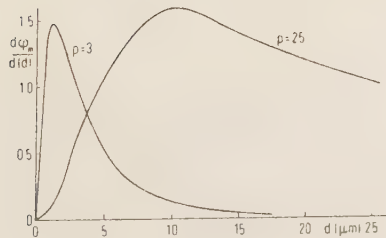


Abb. 19: Extreme, logarithmisch normale Korngrößenverteilungen an Arbeitsplätzen
 $\sigma = 0,4; \bar{g} = 2,65 \text{ g/cm}^3$
nach: HENSCHLER 1971

Neben der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Tatsache, daß nur ein bestimmter, durch seinen aerodynamischen Durchmesser definierter Teil des in der Luft befindlichen Gesamtstaubes überhaupt Gelegenheit erhält, lungenschädigend wirksam zu werden, veranschaulichen die in Abbildung 19 dargestellten extremen logarithmisch normalen Korngrößenverteilungen an Arbeitsplätzen die Notwendigkeit eines Meßgerätes zur Bestimmung der am jeweiligen Arbeitsplatz vorherrschenden alveolardeponierbaren Staubkonzentration.

Die Messung der Teilchenzahl, wie sie früher routinemäßig betrieben wurde, bringt infolge unterschiedlicher Teilchengrößenzusammensetzung kein vergleichbares Maß der Lungenpathogenität unterschiedlich beschaffener Stäube. CARTWRIGHT (1967, zitiert nach WALKENHORST 1976) zeigte, daß die 1000 Teilchen/cm³ entsprechende Massenkonzentration (bei 1-5 µm Durchmesser) zwischen 7 und 21 mg/m³, also um den Faktor 3 schwanken kann. Es sollte also ein Meßgerät entwickelt werden, welches möglichst die Massekonzentration des alveolardeponierbaren Staubanteils mißt. Für diese Entwicklung schlägt COENEN 1981 (zitiert nach HENSCHLER 1983) vor, den menschlichen Respirationstrakt wie eine Reihe hintereinandergeschalteter Filter zu betrachten. Abbildung 20 stellt die Graphen der einzelnen Abscheidefunktionen dar.



Abb. 20: Erfassungs-, Eintritts und Austrittswahrscheinlichkeit von Staubteilchen gemäß dem Filtermodell
nach: HENSCHLER 1983

Nun stellt f_A immer noch die Durchlaßfunktion (BRUCH 1980) eines Filters, ähnlich der zur Ermittlung inhalierbarer Feinstäube vom BMRC empfohlenen ("Johannesburger") Kurve. Den Alveolarstaub erhält man erst durch Subtraktion des exhalierbaren vom alveolargängigen Staubanteil: $f_A - f_O$. Abbildung 21 zeigt die für meßtechnische Zwecke gemittelte Wahrscheinlichkeit einschließlich Standardabweichung der Alveolardeposition von Partikeln in Abhängigkeit vom aerodynamischen Teilchendurchmesser, deren Ableitung bereits im vorangegangenen Kapitel kritisch beschrieben wurde.

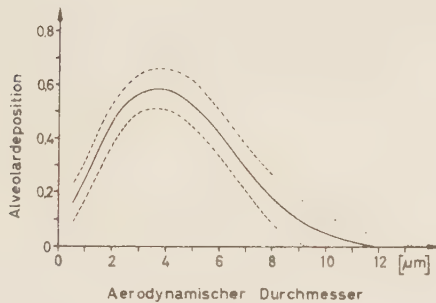


Abb. 21: Alveolardepositionskurve für meßtechnische Entwicklungen
Mittelwert und Standardabweichung der Alveolardeposition als Funktion des aerodynamischen Teilchendurchmessers für Mundatmung
STAHLHOFEN 1981 (nach HENSCHLER 1983)

Die Daten sind für ruhige Atmung durch den Mund entwickelt ($V_t = 1 \text{ l}$, $f = 7,5 \text{ min}^{-1}$), wobei die absolute Höhe der Funktion auch Kurven einschließt, die für höheren Atemfluß bzw. Nasenatmung gefunden wurden.

Nach ARMBRUSTER 1983 besteht ein ideales Staubgewinnungsgerät aus einem Vorabscheider nach dem Impaktionssystem und, zur Gewinnung des Alveolarstaubes, aus einem Sedimentationsabscheider, der den exhalierbaren Staubanteil nicht erfaßt. Dieses Gerät ist heutzutage technisch in sinnvollen Dimensionen noch nicht realisierbar. Mit dem im europäischen Raum gebräuchlichen Probenahmegerät TBF 50 (Abb. 22) steht ein Gerät zur Verfügung, dessen Abscheidecharakteristik der Alveolardepositionsfunktion offensichtlich recht nahe kommt. Die Trennfunktion von Zyklonen hat allerdings den Nachteil, für die theoretische Betrachtung nur näherungsweise berechnet werden zu können.

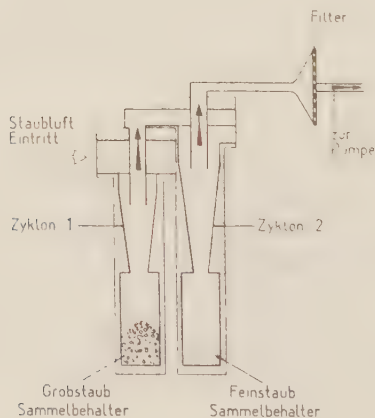


Abb. 22

Abb. 22: Probenahmegerät TBF 50 mit je einem Zyklon als Abscheider für den Grobstaub und für den Feinstaub. Der wieder ausgeatmete Anteil kann auf einem Filter aufgefangen werden.

nach: WALKENHORST 1976

Als Grundlagen für die Bestimmung von lungengängigem Feinstaub zur Abschätzung des Gesundheitsrisikos haben bisher Trennfunktionen gedient, die sich lediglich an der Alveolargängigkeit orientierten. Abbildung 23 zeigt unter anderem die vom British Medical Research Council empfohlene und 1959 von der internationalen Pneumokoniosekonferenz übernommene, sowie die vom ACGIH verwendete Abscheidefunktion.

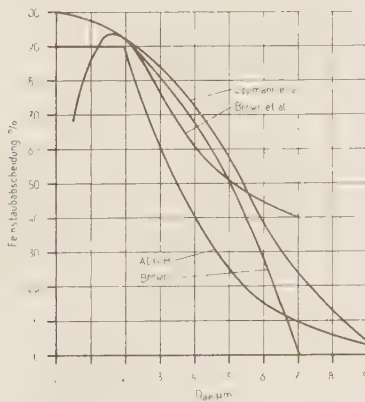


Abb. 23

Abb. 23: Abscheidefunktionen zur Definition des
atembaren oder lungengängigen Feinstaubs
nach: WALKENHORST 1976

Viele Probenahmegeräte orientierten sich an diesen Näherungen der Durchlaßfunktion für den Alveolarbereich. Abbildung 24 zeigt synoptisch die Abscheidefunktion der gebrauchsblichen Probenahmegeräte BAT I und MPG II, welche diese Durchlaßfunktionen erfüllen, die Trenncharakteristik des oben beschriebenen TBF 50 und den experimentell ermittelten mittleren Wahrscheinlichkeitsbereich für die tatsächliche Alveolardeposition.

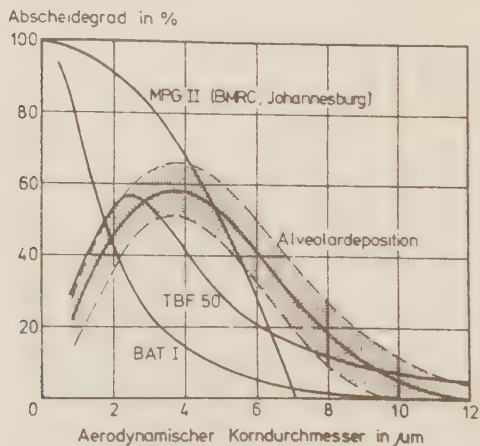


Abb. 24: Die Alveolardeposition nach STAHLHOFEN et al.
und die Abscheidegrade der Probenahmegeräte
BAT I, MPG II und TBF 50 für den Feinstaub in
Abhängigkeit vom aerodynamischen Durchmesser
nach: M.T.R. REISNER 1983

Das nach der Johannesberger Konvention abscheidende Probenahmegerät MPG II scheint den Staubanteil $\leq 4 \mu\text{m}$ über-, den Anteil größerer Partikel im Vergleich mit der Alveolardeposition unterzubewerten. Der Alveolardeposition am nächsten kommt die Trenncharakteristik des TBF 50. Umfangreiche Vergleichsmessungen zwischen den beiden Probenahmegeräten in Betrieben des Steinkohlenbergbaus Belgiens, der Bundesrepublik Deutschland, Frankreichs und Großbritanniens dienten mit insgesamt 365 Wertesätzen REINHARDT und REISNER 1981 zur Ermittlung von Umrechnungsgleichungen. Hierbei bestätigte sich, daß die mit dem nach der "Johannesburger Kurve, BMRC" ermittelten gravimetrischen Feinstaub-Konzentrationen gerade bei feinen, asche- und somit auch quarzreichen Stäuben, deutlich höher lagen, als die mit dem TBF 50 gemessenen, also tatsächlich alveolardeponierbaren Massekonzentrationen. Dies hat in der Vergangenheit zu einer Überbewertung der Konzentrationen aschereicher Stäube und somit zu einer Unterschätzung ihrer Silikogenität geführt; wohingegen aschearme, also auch quarzärmere, gröbere Stäube in ihrer Konzentration unter-, ihrer Silikogenität überschätzt wurden. Aufgrund der beiden Vergleichsmessungen gewonnenen Daten ermittelten REINHARDT und REISNER Gleichungen, deren Graphen ein genaueres Bild der Meßunterschiede vermitteln.

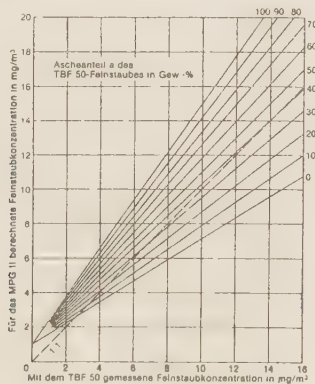


Abb. 25

Abb. 25: Umrechnung der Massenkonzentration des TBF 50-Feinstaubes $C_{TBF\ 50}$ in einen entsprechenden $C_{MPG\ II}$ -Wert bei verschiedenen Ascheanteilen

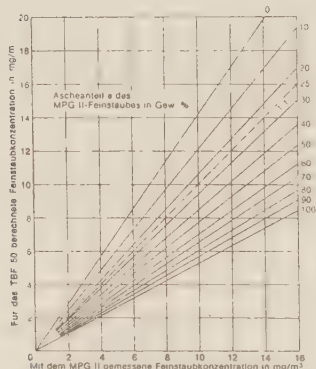


Abb. 26: Umrechnung der Massenkonzentration des MPG II-Feinstaubes $C_{MPG\ II}$ in einen entsprechenden $C_{TBF\ 50}$ -Wert bei verschiedenen Ascheanteilen

Abbildung 26 zeigt, daß bei einem Ascheanteil von 25 %, wie er in der Regel im Ruhrrevier vorherrscht, von beiden Probenahmegegeräten gleiche Massenkonzentrationen gemessen wurden. Nimmt man jedoch etwa den Wert 4 mg/m^3 , vom TBF 50 gemessen, so können je nach Ascheanteil vom MPG II Werte zwischen 2,5 und $7,5\text{ mg/m}^3$ ermittelt werden. Da das TBF 50 entsprechend der Alveolardepositionswahrscheinlichkeit auch gröbere Partikel mißt als das MPG II, welches gemäß der Johannesburger Kon-

vention keine größeren Partikel als $7,07\mu\text{m}$ durchläßt, fanden die Untersucher geringfügig höhere Quarzkonzentrationen in den vom TBF 50 gesammelten Feinstaubproben.

Im Hinblick auf die von STAHLHOFEN 1980 sowie BAILEY et al. 1982 und YEATES 1982 gewonnenen Erkenntnisse über die Alveolardeposition und tracheobronchiale Clearancekinetiken scheint die von RAABE 1982 geführte Diskussion über den von der Environmental Protection Agency der USA vorgeschlagenen Cut-off point bei $15\mu\text{m}$, zur Erfassung auch größerer Partikel, die eventuell tracheobronchial wirksam werden, gegenstandslos. Die tracheobronchiale Clearance scheint gründlich und schnell genug, um eine längere, zur möglichen Schädigung führende Verweilzeit von Quarzstaubpartikeln zu verhindern; die Alveolardepositions Wahrscheinlichkeit ist nunmehr hinreichend definiert.

Erstzunehmende Untersuchungen belegen die Abhängigkeit der Zytotoxizität und - tierexperimentell - auch der Fibrogenität eines quarzhaltigen Feinstaubes von seinem Mineralgehalt und dem Ausmaß der freien Quarzoberfläche (HILSCHER et al. 1983, KRIEGSEIS et al. 1983, NEBE und STRÜBEL 1983). Es ist deshalb erwogen worden, die Ausdehnung der freien Quarzoberfläche mit in die Beurteilung der Gesamtschädlichkeit eines quarzhaltigen Staubes aufzunehmen. Unbestritten ist der von BRUCH et al. 1977 und BRUCH et al. 1983 beschriebene Zusammenhang zwischen Mineralgehalt, freier Quarzoberfläche, Zytotoxizität und Lymphknotenpenetration von quarzhaltigen Feinstäuben. Wir sind allerdings nach den Beobachtungen von SCHLIPKÖTER 1971, SCHLIPKÖTER 1976, WELLER 1977 und LE BOUFFANT 1977 der Auffassung, daß die Teilbedeckung der Quarzoberfläche durch Begleitmineralien von passagerer Bedeutung ist, es vielmehr, im Laufe der Verweilzeit in der menschlichen Lunge, zu einer Entmischung der deponierten Stäube und zu einer Demaskierung

der Quarzpartikel kommt, die zum Wirksamwerden des gesamten Quarzanteils führt, und welche tierexperimentell - infolge natürlicher Begrenzung der Versuchsdauer - in der Regel nicht erfaßt werden kann, für die Entwicklung der Mischstaubsilikose im Menschen aber von erheblicher Bedeutung ist.

Sinnvoll erscheint am ehesten, als Maß für die langfristige Schädlichkeit eines quarzhaltigen Feinstaubes, die Bestimmung der - von Partikelgröße und -anzahl abhängigen, nach Entfernung der Bedeckung durch Begleitmineralien und Kohle ermittelbaren - gesamten Quarzoberfläche in der alveolar deponierbaren Staubfraktion. Diese Problematik wird weiter unten noch näher diskutiert.

V. Die schädigende Wirkung von Quarz und quarzhaltigen Stäuben auf den Organismus

1. Histopathogenese

Die zellschädigende Wirkung von SiO_2 -Modifikationen enthaltenen Stäuben ist durch zahlreiche Studien belegt (ROBOCK 1969, ROBOCK und KLOSTERKÖTTER 1969, 1971, 1975; ROBOCK, BRUCH und REISNER 1981, NEBE und STRÜBEL 1983; BRUCH und Mitarbeiter 1983; KESSEL et al. 1963; BECK et al. 1963; MODELEL et al. 1967; RASCHE, B., W.T. ULMER 1969; RASCHE, B., H. BAUMANN 1971; RASCHE, B., W.T. ULMER 1964). Eine mögliche Erklärung liegt in der von SEIFERT 1964 und 1966

entwickelten Hypothese, daß die Bildung wasserstoffgebundener Komplexe, ähnlich einer Wasserstoffbrückenbindung, zwischen Quarzoberfläche und Zellmembran schließlich zu deren Zerreißung führt. Die mangelnde Membrantoxizität des ja auch Silanolgruppen enthaltenden Stishovits ist durch dessen unterschiedliche stereochemische Konfiguration erklärbar (nach ZISKIND et al. 1976). ROBOCK und KLOSTERKÖTTER 1967

sehen im Elektronentransfer infolge der Halbleitereigenschaften von Quarz und Zellmembran eine mögliche Ursache der Membranschädigung, wobei die, vom Fremdioneneinbau abhängige, kristallstrukturbedingte Aktivierungsenergie der Elektronenhaftstellen als Maß für die Toxizität angesehen werden könnte. NEBE und STRÜBEL fanden 1983 Hinweise dafür, daß der Grad der Zytotoxizität mit der Ausdehnung der freien Quarzoberfläche von quarzhaltigen Mischstäuben korreliert, jedoch sind diese Zusammenhänge nicht in jedem Falle eindeutig nachweisbar. BRUCH und Mitarbeiter 1983 weisen darauf hin, daß nicht die gesamte Zytotoxizität von quarzhaltigen Stäuben durch den Quarzanteil verursacht werden kann. Untersuchungen

mit dem quarzspezifischen Hemmstoff PVNO (ULMER, W.T., RASCHE, B. 1965; BORBE) konnten keine vollständige Hemmung der Zytotoxizität nachweisen. Ein wesentlicher Anteil der Zellschädigung ist auf die Begleitmineralien zurückzuführen. Zwar muß die in vitro meßbare Zytotoxizität als mitursächlich für die Penetrationsfähigkeit quarzhaltiger Stäube in Lymphknoten angesehen werden (SEEMAYER und MANOJLOVIC 1981, BRUCH et al. 1983), jedoch belegen Untersuchungen von RASCHE und BAUMANN 1971, WELLER 1977 und BRUCH et al. 1983 eindeutig, daß von in vitro gemessener Zytotoxizität nicht auf die letztlich fibrogene Aktivität in vivo geschlossen werden kann.

Nach RASCHE 1976 wird quarzhaltiger Staub ebenso wie inerte Staubpartikel von Alveolarmakrophagen lebhaft phagozytiert. Zerfallen bei massiver Quarzstaubexposition infolge der Zytotoxizität die Makrophagen, wird der auf diese Weise freigesetzte Staub von der nächsten Makrophagengeneration erneut phagozytiert. Die Phagozytoseleistung ist von der Anzahl der immigrierenden Makrophagen, der Phagozytoserate, dem Phagozytoseindex und der Emigration der phagozytiert habenden Zellen abhängig (RASCHE und ULMER 1967; RASCHE 1967; RASCHE et al. 1969). Forcierte Reizsetzung scheint zur Erschöpfung des RES führen zu können (RASCHE und ULMER 1967; RASCHE und ULMER 1970, zitiert nach RASCHE 1976).

KISSLER und Mitarbeiter 1982 beobachteten elektronenmikroskopisch, nach der intratrachealen Gabe von Quarz/Kohlenstaub, bei Ratten infolge der zytotoxischen Staubwirkung eine Zerstörung der Membranen von Typ I-Pneumozyten und somit die Entstehung eines "alveolären Ulcus". Die im Bereich dieses Defek-

tes liegenden Staubpartikel werden phagozytiert und liegen nach "Reparatur" des Epitheldefektes nunmehr im Lungeninterstitium. Bei massiver Staubexposition beobachteten die Untersucher den Untergang sämtlicher Pneumozyten, worauf auch die Surfactantproduktion versiegte. Staubpartikel und Zelltrümmer lagen, von Makrophagen phagozytiert, in der sich im weiteren Verlauf bildenden bindegewebigen Narbe. Die Penetration staubbeladener Makrophagen zwischen zwei intakten Pneumozyten konnte auch von diesen Untersuchern nicht beobachtet werden, wird aber nicht für ausgeschlossen gehalten (RASCHE 1976).

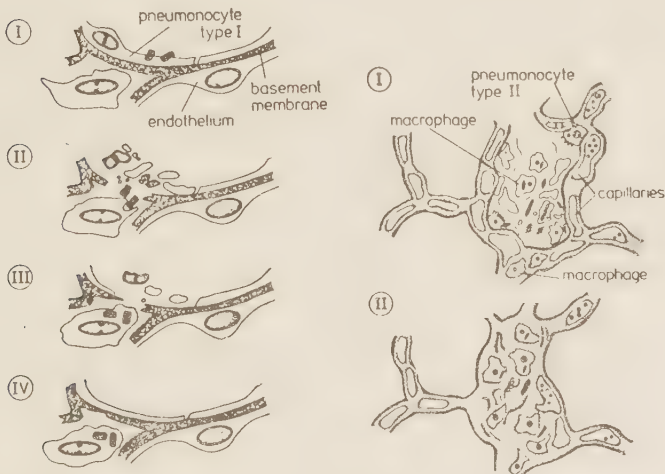


Abb. 27: Erläuterungen siehe Text
nach: KISSLER et al. 1982

Nach HEPPLESTON 1982 sind für die Einwanderung von Makrophagen in das Lungengewebe zwei Mechanismen möglich: 1. Steigerung der Kapillarpermeabilität durch Prostaglandin E_2 , von Makrophagen nach Quarzkontakt gebildet, 2. die Wirkung von - wahrscheinlich aus beschädigten Alveolarzellmembranen entstehenden - Chemotaxinen aus der Lipidfraktion, denen aus der Arachidonsäure entstehenden ähnlich.

Pneumozyten vom Typ II bilden nach Quarzkontakt vermehrt Dipalmitoyl (DPL), die Hauptkomponente des Surfactant. Bei hoher Quarzstaubexposition in relativ kurzer Zeit kann die dann auftretende exzessive Bildung von DPL durch Einschluß der Kristalle zur Minderung des Quarz-Makrophagenkontaktes, und infolgedessen auch zur Hemmung von Fibrosierung und Lipidose führen. Diese an Rattenlungen gemachte Beobachtung hat ihr Korrelat z.B. in der atypischen Fibrose mit Lipoproteinose nach exzessiver Exposition von Sandstrahlern. Der Einschluß der SiO_2 -Kristalle wirkt offenbar wie ein Schutzmechanismus bei kurzzeitigen massiven Expositionen; hält die massive Exposition jedoch an, kommt es zur Zunahme von Lipidose und Fibrosierung. Möglicherweise dienen Lipide auch als Stimulatoren der Monopoese, wobei aufgrund des Zellflusses Mark-Blut-Lunge keine Monozytose beobachtet wird. Auch diese Beobachtungen auf zum Teil molekularer Ebene zeigen, daß erst die Überforderung körpereigener Schutzmechanismen zur Krankheit führen kann.

Ein aus quarzexponierten Makrophagen gewonnenes Protein, das nicht zu den Immunglobulinen zählt und im Zytosol vorhanden ist, stimuliert die Hydroxyprolinsynthese von Fibroblasten offensichtlich durch Blockierung des RNA-Abbaus mittels Blockierung der RNA-se; dieses Protein nennt er MFF = macrophage fibrogenic factor. Die MFF-Produktion ist offenbar nicht nur an

der Fibrosierung von Lungengewebe infolge SiO_2 -Expositionen beteiligt; die Beteiligung bei rheumatischen Erkrankungen und z.B. Lebercirrhose ist augenscheinlich.

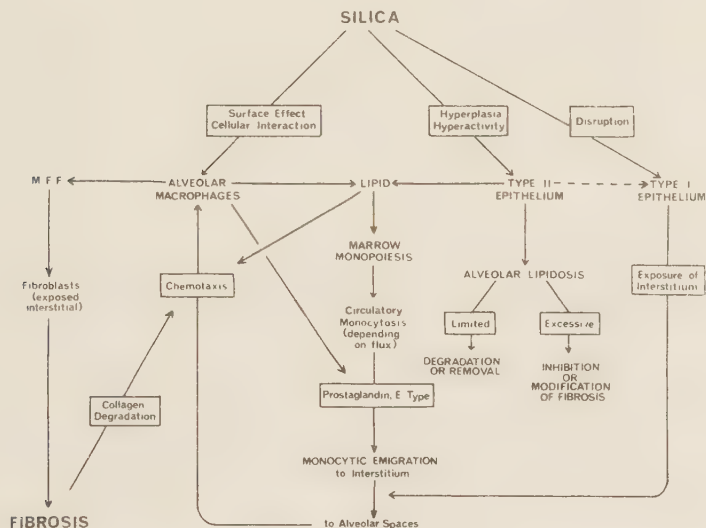


Abb. 28: Ein vorstellbares System silikotischer Fibrogenese, in dem allerdings noch nicht alle Zusammenhänge gesichert sind

nach: HEPPLESTON 1982

Ein bevorzugter Eliminationsweg von Quarz sind lymphatische, vorzugsweise periarteriell, paravenös, subpleural oder para-septal gelegene Abflußbahnen, wobei die Anwesenheit von Quarz auch die - möglicherweise durch atemsynchrones "Pumpen" der

Alveolarflüssigkeit bewirkte - Drainage ansonsten als inert eingestufte Stäube beschleunigt ("Lymphotropismus") (KLOSTER-KÖTTER 1967, RASCHE 1976, WELLER 1977, LE BOUFFANT 1977). Dabei kommt es zu einer deutlichen Zunahme des Quarzanteils am Gesamtstaub. Ein auf diese Weise in Lymphknoten gelangter Quarzstaub oder Quarzmischstaub kann dort seine fibrotische Wirkung entfalten. Bei Überschreitung der Aufnahmekapazität der Lymphknoten oder "Verstopfung" der Lymphwege infolge hoher Staubbelastung, finden Fibrosierungen im Bereich der sich anhäufenden Staubdeposits statt (RASCHE 1976).

WELLER beschreibt 1977 verschiedene Stadien der Entwicklung eines Kohlen-Quarz-Mischstaubgranuloms beim Langzeitinhalationstest (bis 18 Monate, Staubkonzentrationen zwischen 45 und 75 mg/m³ und 25-40 % Quarzgehalt) mit Ratten. Nach 500 Stunden Bestäubung fand er - in möglicherweise anatomisch bedingten Zonen ungünstig hoher Ventilation (Impaktion?) - umschriebene Staubablagerungen, teils frei im Alveolarraum, teils innerhalb von Makrophagen. Nach 800 Stunden kann dort eine Zusammensinterung des Staubes, nach 1250 Stunden bereits die beginnende Faserbildung beobachtet werden. Im weiteren Verlauf kommt es mit der Zunahme des Faseranteils gegenüber der deponierten Staubmenge peribronchial und perivaskulär zur Ausbildung des typischen Mischstaubgranuloms, wobei innerhalb der 22 Monate Versuchszeit keine zentrale Hyalinisierung beobachtet werden konnte. Im Umfeld der Konfluenz auch unterschiedlich alter Herde kommt es zur Ausbildung eines perifokalen Emphysems. Nach KÖNN et al. 1976 ist die Folge reinen Quarzstaubes "das Quarzgranulom, ein rundliches bis ovales hyalin-schwieliges Knötchen, von einem schmalen Saum staubzellenreichen Gewebes begrenzt, mit einem Durchmesser von

etwa 2 mm". Mit Abnahme des Quarzanteils eines Staubes überwiegt in dem sich dann langsamer entwickelnden Mischstaubknötchen der "quarzenspezifische Staubzellmantel" - den er mit DI BIASI 1949 als die biologische "Wachstumszone" des Granuloms ansieht - gegenüber dem quarzspezifischen fibrösen Kern. Diese größeren Wachstumszonen sind an der bis zur Ausbildung großer silikotischer Mischschwielen reichenden Konfluenzneigung einzelner Mischstaubgranulome beteiligt. Nach Beobachtungen von HEPPLESTON 1982 kann selbst inerte Staub beim Auftreffen auf ein silikotisches Knötchen Quarzstaub aus den Randbezirken verdrängen, worauf dieser in benachbarten Alveolen abgelagert wird; damit wäre eine Progredienz des silikotischen Prozesses auch nach Unterbrechung der Quarzstaubexposition erklärbar. KÜNN et al. 1976 weisen darauf hin, daß perivaskulär gelegene silikotische Granulome zu Intimaproliferation, Stenose oder narbiger Obliteration des Gefäßes führen können, ähnlich der narbigen Obliteration von Bronchiolen den Bereich von Quarzgranulomen.

V. Die schädigende Wirkung von Quarz und quarzhaltigen Stäuben auf den Organismus

2. Pathologie

Infolge des oben beschriebenen "Lymphotropismus" SiO_2 -Modifikationen enthaltender Stäube kann nach KÖNN et al. 1976 nach Exposition quarzreicher Stäube den pulmonalen Veränderungen eine Hiluslymphknotensilikose vorausgehen, was jedoch bei der Anthrakosilikose - möglicherweise durch "Verstopfung" der Lymphgefäße durch größere Kohlenstaubpartikel - seltener beobachtet werden konnte. Die Dislokation des Hilus, die Ummauerung von Bronchien und großen Blutgefäßen bis zur spaltenförmigen Lumeneinengung, Thrombosen der A. pulmonalis beim Einbruch von silikotischem Gewebe in das Gefäß, die Bildung von sekundären Emphysemen, Bronchiektasen und chronischen Atelektasen, die zu trophischen Störungen führende Lungendennervierung einschließlich Phrenicus- und Laryngicusparesen (ZISKIND 1976), infolge Einmauerung mediastinaler Nervenstränge, sowie die durch subkapsuläre Kalkeinlagerungen auftretende "Eierschalensilikose" können in fortgeschrittenen Phasen der Hilussilikose beobachtet werden.

Insbesondere die durch Konfluenz kleinerer Granulome bei Mischstaubsilikose bevorzugt dorsolateral und infraclavikulär im rechten Oberlappen entstehenden, größeren Schwielen neigen zum zentralen ischämischen Zerfall und zur Obliteration von Bronchien und Gefäßen (KÖNN et al. 1976; ZISKIND et al. 1976). Kommt es über einen Bronchus zu einer Drainage des zerfallenen Materials, kann die dabei entstehende dünnwandige Höhle zu Verwechslungen mit tuberkulösen Kavernen geben.

Exobronchiale Obstruktionen, Deformierungen und Verziehungen von Bronchien, insbesondere durch in zentralen Lungenabschnitten oder im Hilusbereich gelegene silikotische Ballungen, können eine chronische Bronchitis unterhalten, die ihrerseits über Bronchitis deformans und Plattenepithelmetaplasien zu Bronchusstenosen, und somit zur weiteren Einengung der Atemwege führen kann. Zwar ist als Folge chronischer Staubbelastung die Ausbildung einer verstärkten bronchialen Reinigung unbestritten, eine primäre chronische silikotische Bronchitis aber bisher nicht nachweisbar.

HEPPLESTON 1972 nimmt die zunehmende Rigidität staubumlagerter respiratorischer und terminaler Bronchiolen und den durch Untergang von "smooth muscles" entstehenden Elastizitätsverlust als ursächlich für die Entwicklung des staubtypischen proximalen azinären Emphysems an. Infolge Übertragung inspiratorischer Zugkräfte von nicht mehr dehnbaren Staubablagerungsbezirken auf das umliegende gesunde Lungengewebe, kommt es in diesen Bereichen zu Überdehnungen. HEPPLESTON hält diese Emphysemform nicht für quarztypisch; da er sie auch bei inerten Stäuben beobachtet, hält er sie vielmehr für eine generalisierte Reaktion auf vermehrte Staubablagerung in den Atemwegen.

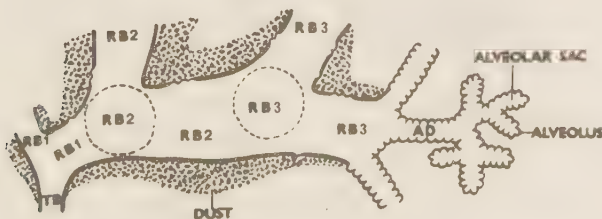


Abb. 29

Abb. 29: Schema eines mit Kohlenstaub verbundenen Emphysems. Bronchiolen des proximalen Azinus-anteils sind dilatiert, der distale Anteil bleibt unverändert. TB = Bronchiolus terminalis; RB = respiratorische Bronchien aufeinanderfolgender Generationen (1, 2, 3); AD = Ductus alveolaris

nach: HEPPLESTON 1972

Sind entzündliche Vorgänge die Ursache für das proximale azinäre Emphysem, kommt es infolge der veränderten Aerodynamik im weiteren Verlauf zu Staubbrandsaumbildungen in den Alveolen, wie Abbildung 30 veranschaulicht.

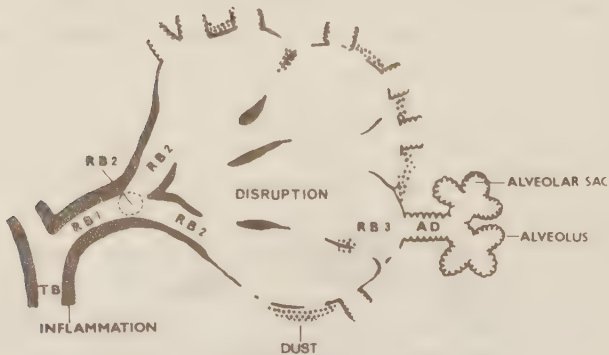


Abb. 30

Abb. 30: Schema eines entzündlich bedingten proximal
azinären Emphysems beim Kohlenbergarbeiter
nach: HEPPLESTON 1972

Tritt zum, als nicht staubtypisch betrachteten, irregulären Emphysem eine Belastung mit fibrogenen Stäuben, führen zunehmende Rigidität des Bindegewebes und narbige Schrumpfung, über die Überdehnung selbst schon vorgeschädigter, beachbarter Bezirke zur Ausbildung von Emphysembullae.

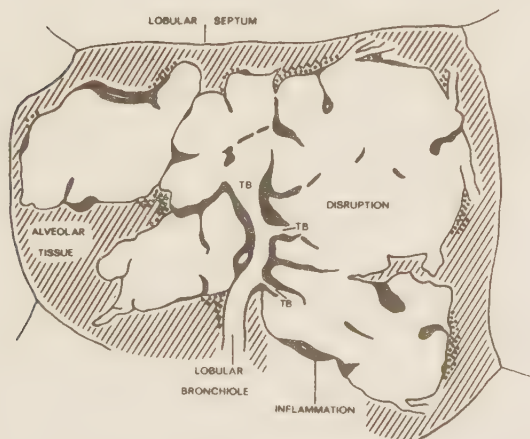


Abb. 31: Irreguläres Emphysem bei einem Kohlenberg-
arbeiter
nach: HEPPLESTON 1972

Werden durch das Vorwachsen silikotischen Granulationsgewebes alte tuberkulöse Herde reaktiviert, so kann es zu einem silikotuberkulösen Mischprozeß kommen, der über Schwielenenerweichung und Kavernenbildung bis zu tödlich verlaufenden exsudativen lobulären käsigen Pneumonien führen kann. Untersuchungen von GROSS et al. 1972 und GERNEZ-RIEUX et al. 1972 geben Hinweise dafür, daß die Tuberkulose eine Generatorfunktion für die Entwicklung einer großschwieligen Silikose, der massiven progressiven Fibrose, haben könnte, wobei nach ZISKIND et al. 1976 mehr als ein Drittel des Lungenoberlappens, einschließlich Interlobärspalt, betroffen sein kann. PENMAN 1971 weist jedoch darauf hin, daß die progressive massive Fibrose nicht mit der Tuberkulose zurückgegangen ist. Nach REICHEL 1976 kann der Verlauf einer Silikose durch einen spezifischen Begleiteffekt modifiziert werden, häufig findet sich jedoch kein Anhaltspunkt für die Mitbeteiligung einer aktiven Tuberkulose an der Schwielenentwicklung. Beim Befall von Hilus-lymphknoten werden Traktionsdivertikel der Speiseröhre beobachtet, ebenso wie die Ausbildung oesophago-bronchialer oder oesophago-pulmonaler Fisteln. Fast regelhaft ist die Pleura u.U. bis zur Ausbildung eines tuberkulösen Pleuraempyems mit anschließender schwieliger Verödung mitbeteiligt (KÖNN et al. 1976).

Obgleich, statistisch gesehen, kein gehäuftes Auftreten von Lungencarcinomen bei Silikose nachweisbar ist, wird in den seltenen Fällen einer engen pathologisch-anatomischen Verquickung von silikotischer Schwielenbildung und einem malignen Primärtumor der Lunge - der in diesem Falle nicht größer als etwa pflaumengroß sein darf - die zweifelsfrei umstrittene Entwicklung eines Narbencarcinoms angenommen. Der von RAJEWSKI et al. 1943 beschriebene "Schneeberger Lungenkrebs" ist selbstverständlich auf den Ge-

halt an radioaktiven Substanzen im Feinstaub zurückzuführen. Für eine carcinogene Wirkung von Quarzstaub hat sich bisher kein Anhaltspunkt ergeben (KÖNN et al. 1976).

Die durch silikotische Prozesse bedingte Obliteration pulmonaler Gefäße und die Folgen der, durch diese Prozesse bedingten, chronischen Bronchiolitis, Bronchitis, Atemwegsobstruktion und Emphysem können über eine chronische pulmonalarterielle Hypertonie, und der daraus folgenden Hypertrophie des Myokards der rechten Herzkammer, zur Entwicklung eines chronischen Cor pulmonale führen (ULMER 1972; KÖNN et al. 1976). Die durch eine Rechtsherzinsuffizienz entstehende Thrombose - und somit auch Lungenembolieneigung - kann schließlich über einen circulus vitiosus zum tödlichen Versagen des rechten Herzens führen.

J.

3. Röntgenologie und Staging

Mindestens 3 mm groß muß ein regelmäßig geformtes silikotisches Granulom sein, um röntgenologisch erfaßt werden zu können (OTTO und WOITOWITZ 1967, HEITZMANN et al. 1972, REICHEL 1976). Unregelmäßig geformte und mehr zentral gelegene Knötchen werden erst bei größerem Durchmesser erkannt, als regelmäßige, die im Mantelbereich liegen. Durch Überlagerung (Summationseffekt) können auch multiple kleinere Veränderungen röntgenologisch faßbar werden (HEITZMANN et al. 1972, REICHEL 1976). Die röntgenologischen Schatten werden nicht durch den Staubgehalt, sondern die Gewebsdichte der Granulome hervorgerufen (REICHEL 1976). Zwar können sich je nach Staubzusammensetzung charakteristische Röntgenkonfigurationen ergeben, die Diagnose eines berufsspezifischen Silikoseotyps allein aus dem Röntgenbild scheint wegen fließender Übergänge nur in Ausnahmefällen möglich. Die bei der Exposition besonders fein aufgesplitteter, sehr dichter hochkonzentrierter Quarzstäube entstehenden, infolge des nur sehr zart ausgebildeten Staubzellsaums nur selten zur Konfluenz neigenden, typischen silikotischen Granulome manifestieren sich im Röntgenbild als besonders harte, punktförmige Schatten ("Schrotkornlunge"). Bei den sogenannten Mineursilikosen der Tunnelbauer finden sich, ähnlich den Sandsteinhauerlungen, neben zur Eierschalenverkalkung neigenden verbreiterten Lungenwurzeln, mittelgrobe bis grobe harte fleckschatten, die je nach Staubzusammensetzung zu massiven Ballungen besonders in den Unterlappen führen können. Mit abnehmendem Quarzgehalt werden die Konturen der beobachteten Fleckschatten unschärfer,

bei zunehmend variierender Größe und deutlicherer Konfluenz-
neigung. Mit dem bevorzugt im rechten Obergeschoß beobachte-
ten Auftreten silikotischer Mischstaubschwielen kommt es, in-
folge des sich durch die nun einsetzenden Wachstums-, Wande-
rungs- und Schrumpfungsneigung ausbildenden Traktionsempy-
sems und der Einbeziehung benachbarter Knötchen, zur "Aus-
löschung" zuvor beobachteter Fleckschatten (nach REICHEL
1976; PENMAN 1971; NAEYE et al. 1972). Die von REICHMANN
1930, 1933 als "Regenstraßen"
beschriebenen, senkrecht verlaufenden, in zipfelige Kontur-
ausziehungen des Zwerchfells endenden Streifenzeichnungen
sind Folge fortgeschrittener Formen schwieliger Schrumpfungs-
vorgänge in der Lunge. Die infolge Schwielenzerfall beobach-
teten Einschmelzungshöhlen sind röntgenologisch nicht immer
sicher von einer spezifischen Kaverne abgrenzbar. Die rönt-
genologisch häufig unterbewertete, oft bei der reinen Quarz-
staubsilikose, aber auch nach Mischstaubexposition beobachte-
te Hiluslymphknotensilikose tritt bevorzugt rechtsseitig auf
und kann dort, durch Kompression des verhältnismäßig engen
Mittellappenbronchus, zur chronischen Mittellappenpneumonie
mit entsprechender röntgenologischer Symptomatik führen. Ob-
gleich Pleurabeteiligungen ohne entzündliche Komplikationen
bei der Mischstaubsilikose röntgenologisch nur selten beob-
achtet werden, können narbig schrumpfende Schwielen der am
silikotischen Prozeß röntgenologisch nicht faßbar beteilig-
ten Pleura visceralis über ein mitunter erkennbares Mantel-
emphysem zum Spontanpneumothorax führen (nach REICHEL 1976).
Cor pulmonale und begleitendes Emphysem mit Zwerchfelldief-
stand können, als Folge einer Rotation der Herzachse, zur
Ausbildung des sogenannten silikotischen, aber auch emphysem-
typischen Schmalherzens mit Verlängerung der pulmonalen Aus-
flußbahn und kaum abgrenzbarem Übergang vom Conus zur Arteria

pulmonalis führen (MATTHES, ULMER et al. 1960).

Die tatsächliche Anzahl der silikotischen Einzelherde wird röntgenologisch in der Regel unterschätzt (HEITZMANN, NAEYE et al. 1972), wohingegen die Folgen einer chronischen Stauungslunge, chronischer Peribronchitiden, karnifizierender Pneumonien (GRAVENKAMP 1956), aber auch einer endogenen Eisenanreicherung in der Lunge (LIDDELL 1972) zu röntgenologisch als typisch silikotisch imponierenden Veränderungen führen können. Kann die Diagnose und Differentialdiagnose der Silikose nicht aus dem Röntgenbild allein gestellt werden, so beschreibt PENMAN 1971 sogar den Rückgang typischer silikotischer Veränderungen mit dem Auftreten eines Emphysems. Das staubtypische fokale Emphysem, die chronisch obstruktive Bronchitis, die meisten klinisch auffälligen Funktionsstörungen der Lunge sind röntgenologisch nicht faßbar (HEITZMANN, NAEYE et al. 1972, REICHEL 1976). Obwohl also die röntgenologische Diagnose der Silikose unsicher und mit Fehlern behaftet sein kann und über den Lungenfunktionszustand praktisch keine verwertbare Aussage zuläßt, ist bei der intravitalen Diagnosestellung, der Früherkennung und Überwachung der Silikose die Thoraxröntgenaufnahme durch keine andere Untersuchungsmethode zu ersetzen.

VOLLSTÄNDIGE KLASSIFIKATION

Angaben zur Bildgüte

Vier Abstufungen für die Bildgüte sind in Gebrauch:

1. Gut.
2. Annehmbar - ohne technische Mängel, welche die Klassifizierung der radiologischen Staublungsbefunde beeinträchtigen.
3. Ausreichend - mit einigen technischen Mängeln, aber noch brauchbar für Klassifikationszwecke.
4. Unannehmbar.

Wenn die Bildgüte nicht dem Grad 1 entspricht, sollen die Mängel erwähnt werden (Anmerkung 5).

Lungenveränderungen

Kleine Schatten

Streuung

Die Streuungskategorie beruht auf der Abschätzung der Schattenkonzentration (Anmerkung 6) durch Vergleich mit den Standardfilmen. Für die Streuung geben die festgelegten Definitionen zwar Richtlinien, die Standardfilme sind jedoch vorrangig (Anmerkung 7).

- | | |
|-----------------------|---|
| Kategorie 0 | Kleine Schatten fehlen oder sind weniger gestreut, als der unteren Grenze von Kategorie 1 entspricht. |
| Kategorien 1, 2 und 3 | repräsentieren eine zunehmende Streuungsdichte, wie durch die entsprechenden Standardfilme belegt. |

Durch die Anwendung einer 12-Stufenskala für die Streuung trägt die Klassifikation der kontinuierlichen Entwicklung kleiner Schatten von Null bis zur dichtesten Streuung Rechnung. Unter Berücksichtigung der vier großen, durch Standardfilme festgelegten Kategorien 0, 1, 2, 3 erlaubt diese Skala eine Unterteilung in mehrere (kleine) Kategorien und vermittelt zusätzliche Informationen. Die 12-Stufenskala ist folgendermaßen anzuwenden: der Film wird in üblicher Weise durch Vergleich mit den Standardfilmen in eine der vier Kategorien eingeteilt. Wenn dabei eine benachbarte Kategorie darüber oder darunter ernstlich als Alternative in Betracht kommt, wird dies angegeben. Auf diese Weise bedeutet 2/1 eine Streuung der Kategorie 2, die aber auch die Kategorie 1 als Möglichkeit in Erwägung ziehen läßt. Eine Streuung der Kategorie 2 ohne solche Zweifel liegt nahe der Kategorie 1 und wird als 2/0 angegeben.

Auch in Filmen der Kategorie 0 ist eine Unterteilung möglich. Die Kategorie 0/1 entspricht der Streuung 0, bei welcher aber auch die Kategorie 1 in Betracht kommt. Kategorie 0/0 ist ein Film mit kleinen Schatten, oder wenn vorhanden, so sind sie so geringfügig, daß die Kategorie 1 nicht ernstlich in Erwägung gezogen werden kann. Die Kategorie 0/- angegeben. Zeigt innerhalb der Kategorie 0 ein Film eine wesentlich höhere Streuung als 0/0, so ist dies als 0/1 gekennzeichnet werden. So wird aus dem 4-Kategorien-System die 12-Stufenskala: 0/-, 0/0, 0/1; 1/0, 1/1, 1/2; 2/1, 2/0, 2/2; 3/2, 3/3, 3/4 (Anmerkung 8). Zu betonen ist, daß andere Befunde vorhanden sein können, welche keine Beziehung zu den Streuungskategorien der kleinen Schatten haben.

Verbreitung

Die Felder, in denen kleine Schatten zu sehen sind, werden markiert. Die Lungen sind in sechs Felder: Ober-, Mittel- und Unterfeld, jeweils rechts und links, und zwar durch horizontale Linien eingeteilt, welche in Höhe der Ein- und Zweidrittelgrenze des senkrechten Abstandes zwischen Lungenspitze und Zwerchfellkuppel zu ziehen sind.

Die Streuungskategorie der kleinen Schatten wird bestimmt durch den Gesamteindruck aller betroffenen Felder und Vergleich mit den Standardfilmen. Wo eine beachtliche Streuungsdifferenz in verschiedenen Feldern (von mindestens 3 kleinen Kategorien) vorliegt, werden die Felder mit der wesentlich niedrigeren Streuung bei der Abschätzung der Streuungskategorie nicht beachtet (Anmerkung 9).

Form und Größe

Form und Größe der kleinen Schatten sind anzugeben (Anmerkung 10). Zwei Formen werden unterschieden: rundlich und unregelmäßig. Für jede werden verschiedene Größen durch Standardfilme illustriert, die Vorrang haben vor den folgenden Definitionen. Die Buchstaben p, q, r kennzeichnen die Anwesenheit kleiner rundlicher Schatten, wobei

p = einen Durchmesser bis zu 1,5 mm,

q = einen Durchmesser von über 1,5 mm bis etwa 3 mm und

r = einen Durchmesser über 3 mm bis etwa 10 mm bedeutet.

Die Buchstaben s, t, u kennzeichnen die Anwesenheit kleiner unregelmäßiger Schatten, wobei

s = ein Kaliber bis etwa 1,5 mm,

t = ein Kaliber über 1,5 mm bis etwa 3 mm und

u = ein Kaliber über 3 mm bis etwa 10 mm bedeutet.

Um Form und Größe anzugeben, sind zwei Kürzel erforderlich. Wenn der Beurteiler meint, daß alle oder anscheinend alle sichtbaren Schatten von gleicher Form und Größe sind, sollte er dieses dadurch vermerken, daß das Kürzel zweifach, durch Schrägstrich getrennt, erscheint (z.B. q/q). Wenn dagegen andere Formen (oder Größen) sichtbar sind, dann sollten diese als zweites Kürzel zugefügt werden (z.B. q/t). "q/t" würde demnach bedeuten, daß die vorherrschenden kleinen Schatten rundlich und von der Größe q sind, aber auch eine beträchtliche Anzahl kleiner unregelmäßiger Schatten des Kalibers t vorhanden ist. Auf diese Weise kann jede Kombination von kleinen Schatten registriert werden (Anmerkung 11).

Die Standardfilme mit rundlichen und unregelmäßigen Schatten sollten gleichermaßen zum Vergleich herangezogen werden, wenn die Schattenform zweifelhaft ist oder beide Formen vorliegen.

Große Schatten

Die Beispiele für große Schatten in den Standardfilmen zeigen Schatten von mehr als 10 mm Durchmesser. Die Kategorien werden in Abhängigkeit vom Schattendurchmesser gebildet:

Kategorie A - ein einzelner Schatten mit größtem Durchmesser von mehr als 10 mm bis zu etwa 50 mm oder mehrere Schatten von mehr als 10 mm Durchmesser mit größter Durchmessersumme, die 50 mm nicht überschreitet.

Kategorie B - ein oder mehrere Schatten größer oder zahlreicher als in A, deren Schattensumme nicht größer ist als das Äquivalent des rechten Oberfeldes.

Kategorie C - ein oder mehrere Schatten, deren Schattensumme das Äquivalent des rechten Oberfeldes überschreitet.

Pleurabefunde

Pleuraverdickung

Sitz (Brustwand, Zwerchfell, kostophrenischer Winkel), Breite und Ausdehnung sind getrennt, wie im folgenden Text ausgeführt, anzugeben (Anmerkung 12).

Brustwand

- Typ: umschrieben (Plaques) und/oder diffus (Anmerkung 12).
- Sitz: Pleuraverdickung der Brustwand wird für rechte und linke Seite getrennt angegeben
- Breite: Die sichtbare Pleuraverdickung längs der seitlichen Brustwand wird nach ihrer maximalen Saumbreite vom inneren Rand der Brustwand bis zum inneren Saumrand im schärfsten Bereich der Grenzlinie Pleura-Lunge gemessen. Die größte Breite erscheint gewöhnlich am inneren Rippenrand und zwar am lateralsten Punkt.
- a - größte Breite bis etwa 5 mm.
- b - größte Breite von mehr als 5 mm bis etwa 10 mm.
- c - größte Breite von mehr als 10 mm.

En face sichtbare Pleuraverdickung ist zu berichten, auch wenn sie außerdem im Profil zu erkennen ist. Wird die Pleuraverdickung ausschließlich en face festgestellt, kann die Breite nicht gemessen werden.

- Ausdehnung: die Ausdehnung wird als maximale Länge der Pleura-beteiligung oder als Summe der Maximallängen, en face oder tangential, angegeben.
- 1 = Gesamtlängen-Äquivalent bis zur Länge eines Viertels der Projektion einer seitlichen Brustwand.
- 2 = Gesamtlängen-Äquivalent von mehr als einem Viertel, aber weniger als einer Hälfte der seitlichen Brustwand.
- 3 = Gesamtlänge mehr als die Hälfte der Projektion einer seitlichen Brustwand.

Zwerchfell

Plaques der Zwerchfell-Pleura werden seitengetrennt und als vorhanden oder nicht vorhanden angegeben - wie im Standardfilm gezeigt - (Anmerkung 13).

Obliteration des kostophrenischen Winkels

Der untere Grenzwert für die Obliteration ist durch den Standardfilm mit der Streuung 1/1 t/t definiert. Diese Pleuraveränderung wird getrennt von den anderen Pleuraverdickungen angegeben (Anmerkung 14). Wenn die Pleuraveränderung auch an der seitlichen Brustwand ansteigt, ist der Film sowohl unter Obliteration des kostophrenischen Winkels als auch unter Pleuraverdickung der Brustwand zu registrieren, sofern letztere der Ausdehnung 1 oder mehr entspricht. Die Obliteration des kostophrenischen Winkels ist seitengetrennt und als vorhanden oder nicht vorhanden anzugeben.

Pleuraverkalkung

Sitz und Ausdehnung werden für beide Thoraxhälften getrennt berichtet. Die folgenden Zahlenwerte für die Ausdehnung sind vorrangig gegenüber den Beispielen in den Standardfilmen (Anmerkung 15).

Sitz: Brustwand, Zwerchfell und andere Lokalisationen. Letztere schließen Verkalkung der mediastinalen und perikardialen Pleura ein.

Ausdehnung:

- 1 = Eine Zone pleuralen Kalkes mit größtem Durchmesser bis etwa 20 mm oder eine Anzahl solcher Verkalkungen, deren größte Durchmessersumme 20 mm nicht überschreitet.
- 2 = Eine Zone pleuralen Kalkes mit größtem Durchmesser von mehr als 20 mm oder eine Anzahl solcher Verkalkungen, deren größte Durchmessersumme größer ist als 20 mm, aber 100 mm nicht überschreitet.
- 3 = Eine Zone verkalkter Pleura mit größtem Durchmesser über 100 mm oder eine Anzahl solcher Verkalkungen mit größter Durchmessersumme über 100 mm.

Symbole

Die Symbole für die Kodierung wichtiger röntgenographischer Befunde sind unten aufgeführt. Ihr Gebrauch ist verbindlich. Beispiele sind in den Standardfilmen und in den Diagrammen enthalten.

Die Bedeutung eines jeden Symbols ist so zu verstehen, als ob ein adäquater Zusatz wie etwa "Verdacht auf ..", "Veränderungen im Sinne von ..", "Schatten, die denken lassen an .." vorangestellt wäre.

Folgende Symbole liegen vor:

ax	-	Koaleszenz kleiner pneumoniotischer Schatten (Anmerkung 16).
bu	-	Bullöses Emphysem.
ca	-	Krebs der Lunge oder der Pleura.
cn	-	Verkalkungen in kleinen pneumoniotischen Knötchen.
co	-	Abnorme Herzform und/oder -größe.
cp	-	Cor pulmonale.
cv	-	Kavernen, Einschmelzungen.
di	-	Distorsion intrathorakaler Organe.
ef	-	Pleuraerguß.
em	-	Emphysem.
es	-	Eierschalenverkalkungen hilärer oder mediastinaler Lymphknoten.
fr	-	Rippenfrakturen.
hi	-	Vergrößerung hilärer oder mediastinaler Lymphknoten.
ho	-	Honigwabenhunde.
id	-	Zwerchfellunschärfe (Anmerkung 16).
ih	-	Unscharfe Herzkontur (Anmerkung 16).
kl	-	Septum- (Kerley-) Linien.
od	-	Andere Befunde von Bedeutung.
pi	-	Pleuraverdickung in Interlobärraum oder Mediastinum.
px	-	Pneumothorax.
rp	-	Rheumatoide Pneumokoniose.
tb	-	Tuberkulose.

Verkalkte Primärkomplexe einer Tuberkulose oder andere chronisch entzündliche Prozesse wie Kokzidioidomykose oder Histoplasmose sind nicht unter tb geführt, sondern unter "Bemerkungen" erwähnt werden.

Bemerkungen

Bemerkungen zum Kode eines Röntgenbildes sind in der Regel festgehalten werden, wenn Fremdausgaben oder andere Befunde festgestellt werden, welcher von anderer Seite auch als Befund angegeben werden könnte; ebenso zur Kennzeichnung von Befunden, die die Bildgüte der Befund-Kodierung beeinträchtigen.

KURZFORM

Die Bestimmungen über die Anwendung der Kurzform sind bereits im Rahmen der Besprechung der vollständigen Klassifikation dargelegt worden. Im einzelnen ist folgendes anzugeben:

Bildgüte

Die Bildgüte ist mit 1, 2, 3 und 4 wie in der vollständigen Klassifikation zu kennzeichnen (s. S. 2).

Kleine Schatten

Die Streuung ist in Abhängigkeit vom Vergleich mit den Standardfilmen mittels der vier großen Kategorien 0, 1, 2 und 3 anzugeben (s. S. 2).

Form und Größe werden nach dem vorherrschenden Schattenmuster durch Vergleich mit den Standardfilmen bestimmt:

im Falle runder Schatten durch p, q oder r,

im Falle unregelmäßiger Schatten durch s, t oder u wie in der vollständigen Klassifikation (s. S. 3).

Große Schatten

Kategorie A, B oder C wie in der vollständigen Klassifikation (s. S. 4).

Fleureränderungen

Pleurerdickung wird unter dem Symbol pt angegeben.

Pleurerkalkung wird unter dem Symbol pc angegeben.

Symbole

Symbole sind verbindlich wie bei der vollständigen Form der Klassifikation, zusammen mit pt und pc (s.o.).

Bemerkungen

Bemerkungen sind wie bei der vollständigen Klassifikationsform zu handhaben (s. S. 6).

ERKLÄRENDE ANMERKUNGEN

Die Anmerkungen sollen zum Verständnis der Grundsätze und Aufgaben der Klassifikation beitragen. Sie sollen den Text nicht ersetzen, sondern Zweideutigkeiten und unterschiedliche Anwendung vermeiden helfen. Sie beruhen auf den Erfahrungen mit den bisherigen Klassifikationen.

Anmerkung 1: Anwendungsbereich

Die Klassifikation ist für alle Arten von Staublungen gedacht; sie ist für die Auswertung von pa-Thorax-Röntgenfilmen entwickelt worden. Dies bedeutet aber nicht, daß Informationen von ergänzenden Aufnahmen nicht in den Gesamtbericht eines Falles mit einfließen könnten.

Anmerkung 2: Standardfilme

Der Klassifikation von 1980 ist ein neuer Satz von Standardfilmen beigegeben, die nach internationalen Leseversuchen ausgewählt worden sind. Diese Versuche strebten eine Verbesserung der Befundillustration an, welche die Klassifikation beschreibt.

Anmerkung 3: Definitionen

Bisher war ungeklärt, ob die verbalen Definitionen oder die Standardfilme Vorrang haben; dies ist nun ausgeräumt.

Anmerkung 4: Allgemeine Anweisungen

Befunde, welche definitiv oder wahrscheinlich nicht pneumokoniotischer Natur sind, müssen unter Bemerkungen ausdrücklich kommentiert werden. Dies trägt zur Verringerung von Diskrepanzen zwischen den Filmbefunden bei.

Anmerkung 5: Bildgüte

Besonders für epidemiologische Untersuchungen (bei denen es unmöglich sein kann, einen schlechten Film durch einen besseren zu ersetzen!) ist angeregt worden, mehr Einzelheiten über Filmmängel anzugeben: z.B. besonders, ob das Lungenparenchym beurteilbar ist und die Pleura nicht oder umgekehrt, so daß der Kode nur teilweise für die statistische Analyse brauchbar ist.

Tab. 4 g

Tab. 4 a-g: Internationale Klassifikation radiographischer Staublungenbefunde der ILC
1980

V.

4. Klinik

Es gibt keine unmittelbar auf silikotische Lungenveränderungen rückführbare silikotetypische klinische Symptomatik. Die häufig zu beobachtende Divergenz von ausgeprägtem röntgenmorphologischem Befund und klinischer Symptomlosigkeit gilt geradezu als besonderes Kennzeichen der Silikose (ULMER 1971; ULMER und REICHEL 1972, NAEYE 1972, REICHEL 1976, HUGHES et al. 1982). Immer wieder genannte Hauptsymptome der Silikose wie Luftnot, Husten und Auswurf, sind Folgen sekundär entstehender obstruktiver Bronchitiden, welche in über 90 % die Ursache klinischer Behandlungsbedürftigkeit darstellen. (Tritt komplizierend eine Tuberkulose hinzu, welche ja bei Silikotikern mit erhöhter Inzidenz - möglicherweise durch Behinderung lokaler Abwehrmechanismen (mononukleäre Phagozyten, Lymphstrom), und Reaktivierung postprimärer Herde bei Staubschichtungen (WORTH 1976) - insbesondere zwischen dem 50. und 60. Lebensjahr einhergeht, so kann das Beschwerdebild durch Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens, Appetitlosigkeit, Gewichtsverlust, Nachtschweiß etc. erweitert sein). Lokale Kompressionen und Distorsionen des Tracheobronchialbaums infolge Wachstum und Schrumpfung silikotischer Schwielen, sowie das Überwiegen des Bronchialmuskeltonus infolge zum Elastizitätsverlust der Lunge führenden schweren Emphysebildungen begünstigen exobronchial durch Behinderung des bronchialen Reinigungsmechanismus das Angehen von bakteriellen Infektionen, welche ihrerseits, endobronchial, z.B. über die Stimulation sensorischer Vagusrezeptoren durch freigesetzte proteolytische Enzyme, die Obstruktion verstärken und somit quasi sich selbst unterhalten können (ULMER 1976). Lange Zeit können diese, erst im ILO-Röntgenstadium B und C signifikant ge-

häuft auftretenden Obstruktionen (ULMER et al. 1967), mit extremen bodyplethysmographisch meßbaren Atemwegswiderstandserhöhungen bestehen, ohne daß es zu einer Beeinflussung der arteriellen Blutgase kommt. Da fibrosebedingte, alveoläre Diffusionsstörungen im Gefolge silikotischer Lungenveränderungen eine seltene Ausnahme darstellen, kommt es in der Regel erst beim Auftreten von Verteilungsstörungen infolge - durch Mitbeteiligung nicht in die bodyplethysmographische Messung eingehender, peripherer Bronchialmuskeln entstehender - Ungleichmäßigkeiten des Ventilations-/Perfusionsquotienten und damit verbundenen größeren Volumina von gefesselter Luft (ISLAM und ULMER 1971; REICHEL 1969), zur arteriellen Hypoxie und, bei weiterer Abnahme der alveolären Ventilation zugunsten der Totraumventilation, auch zur Hyperkapnie (ULMER 1976).

Silikotische Lungengefäßmitbeteiligung, Gefäßverlust durch Schwielenbildung und emphysematischen Lungenparenchymuntergang, sowie der, von alveolärer Hypoventilation ausgelöste Reflex nach EULER und LILJESTRAND 1946, können über die teils pathologisch-anatomische, teils funktionell-reversible Reduktion des Pulmonalkapillarbettes zur pulmonalarteriellen Hypertonie, einschließlich, mit typischen EKG-Veränderungen einhergehender, rechtsventrikulärer Hypertrophie führen. Im weiteren Verlauf kann sich durch Hinzutreten einer arteriellen Hypoxämie und die obstruktionsbedingten, von erheblichen intrathorakalen Druckschwankungen ausgelösten, starken kardialen Füllungs- und Auswurfschwankungen, eine rechtsventrikuläre und, bei gleichzeitiger Hyperkapnie auch eine linksventrikuläre Insuffizienz entwickeln (ULMER et al. 1966; ULMER 1972; ULMER 1976). Die infolge Obstruktion vermehrte Atemarbeit wird expiratorisch zunächst passiv geleistet (ULMER et al. 1966); sind die inspiratorisch maximal mög-

lichen Drucke erreicht, ist mit dem Auftreten zusätzlich erforderlich werdender expiratorischer Muskelaktivität eine Situation entstanden, die nicht mehr lange mit dem Leben vereinbar bleibt (ULMER 1977).

Demgegenüber können nach REICHEL (1976), trotz schwerster röntgenmorphologischer Veränderungen, Allgemeinbefinden und Leistungsfähigkeit bis ins höchste Lebensalter unverändert sein. Nicht das Ausmaß röntgenologischer Veränderungen also, sondern erst das Auftreten respiratorischer Funktionsausfälle rechtfertigt es, von einer "Silikoseerkrankung" mit klinischer Relevanz zu sprechen.

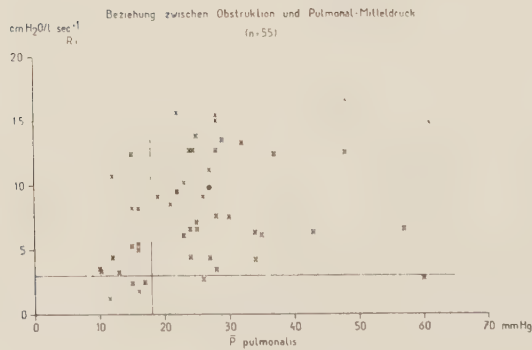


Abb. 32

Abb. 32: Beziehung zwischen Atemwegswiderstand
und mittlerem Pulmonalarteriendruck
bei 55 Bergleuten mit Kohlenbergarbeiter-
Pneumokoniosen und obstruktiver Bronchitis

nach: REICHEL 1976

VI. Quantitative Beziehungen zwischen Quarzstaub- oder Quarzmischstaubexposition und den Wirkungen auf den Organismus

1. Tierexperimentelle Ergebnisse und Untersuchungen zur Zytotoxizität

Untersuchungen zur Zytotoxizität von Stäuben können lediglich - von verschiedenen Untersuchern oft nicht reproduzierbare - Anhaltspunkte für die aktuelle schädigende Wirkung auf ihrem physiologischen Milieu entnommene Zellen geben, wobei möglicherweise im Laufe einer jahrzehntelangen Verweilzeit im Körper auftretende Änderungen der Staubeigenschaften, wie sie bei quarzhaltigen Mischstäuben beobachtet werden, völlig unberücksichtigt bleiben. So kommt diesen Untersuchungen eine nur im begrenzten Maße brauchbare Aussagekraft zu.

Im Gegensatz zu der in der Regel beim Menschen allmählich zur Silikose führenden, kontinuierlichen Exposition relativ niedriger Staubkonzentrationen, werden im Tierexperiment, um rasche biologische Antworten zu erhalten, kurzzeitige, hohe Quarzstaubexpositionen provoziert. Längerfristige Einflüsse auf den Organismus werden in der Regel, infolge der kurzen Lebenszeit der Versuchstiere, nicht erfaßt. Auch hier sind Übertragungen auf menschliche Verhältnisse nur mit Vorbehalt zu unternehmen.

Bei vergleichbaren Quarzgehalten fanden ROBOCK und KLOSTERKÖTTER (1969; 1975) während der Untersuchungen von Quarz aus Lagerstätten unterschiedlicher Genese sowie grubenechter Feinstäube unterschiedliche Zytotoxizitäten, polarographisch gemessen an der Änderung des Sauerstoffverbrauchs

der Zellen. 1981 untersuchten SEEMAYER und MANOJLOVIC Überlebensrate, Lactatdehydrogenasefreisetzung, Laktatbildung und Glukoseverbrauch von in vitro gezüchteten Meerschweinchenalveolarmakrophagen, unter dem Einfluß von 16 verschiedenen Grubenstäuben aus Flözen des rheinisch-westfälischen Kohlenreviers, sowie des Quarzes DQ 12 als Kontrolle. Es fanden sich deutliche Unterschiede in der Zytotoxizität, wobei jedoch wiederum keine Korrelation zwischen Quarzgehalt und zellschädigender Wirkung gefunden wurde.

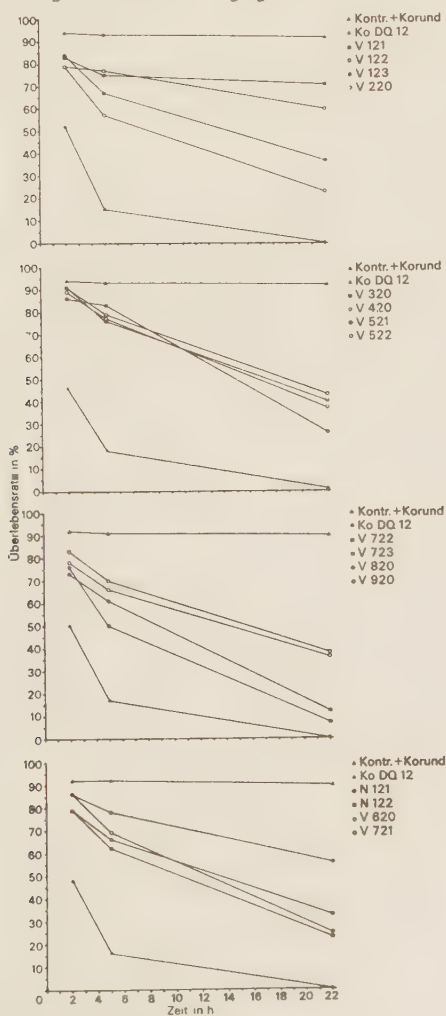


Abb. 33

Abb. 33: Überlebensrate von mit 16 unterschiedlichen Grubenstäuben, sowie dem Quarz DQ 12 und Kork rund inkubierten Meerschweinchenalveolarmakrophagen

nach: SEEMAYER und MANOJLOVIC 1979

BRUCH und Mitarbeiter (1983), die die Zytotoxizität von 27, mit dem BAT II-Probenahmegerät gesammelten Feinstäuben verschiedener europäischer Kohlengruben anhand des Sauerstoffverbrauchs von Kaninchenalveolarmakrophagen bestimmten, fanden eine weitaus höhere Toxizität, als durch den Quarzgehalt zu erwarten war. So erreichte z.B. ein Feinstaub aus Großbritannien mit einem Quarzgehalt von 4,78 %, die anhand der Wirkung der Standarddosis von 600 μ g DQ 12 gemessene quarzäquivalente Toxizität von 0,46 QT, was der theoretischen Wirkung eines Quarzgehaltes von 46 % entspricht. 1982 demonstrierten ROBOCK und REISNER die Korrelation des Mineralgehaltes von Feinstäuben aus 43 bundesdeutschen Kohlengruben mit ihrer, anhand der Aktivität von Meerschweinchenperitonealmakrophagen, 2, 3, 5-triphenyltetrazoliumchlorid (TTC) zu reduzieren, gemessenen Zytotoxizität. Es fand sich eine eindeutige, aber nicht lineare Beziehung, die allerdings, nimmt man einen Quarzanteil von bis zu 12 % vom Mineralanteil an, etwa ab einem Quarzgehalt von 3 %, also bei weniger hoch inkohlten Flözen, kein Fortschreiten der Zytotoxizität mit steigendem Quarzgehalt erkennen läßt.

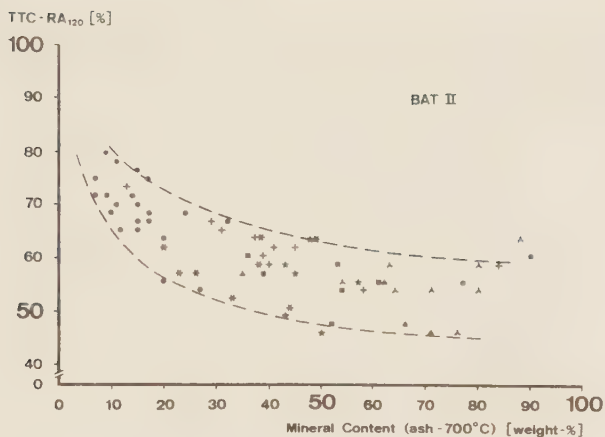


Abb. 34: Die TTC-Reduktionsaktivität von Meerschweinchenperitonealmakrophagen nach 120minütiger Inkubation mit BAT II-Feinstäuben aus Flözen unterschiedlicher geologischer Herkunft (bezogen auf eine Kontrolle), als eine Funktion des Mineralgehalts

nach: ROBOCK und REISNER 1982

NEBE und STRÜBEL konnten 1983 an 58 grubenechten Feinstäuben aus dem europäischen Steinkohlenbergbau, mit der Farbbimmersionsmethode bei Phasenkontrast, bei gleichen Quarzgehalten für hochinkohlte Flöze bei einer stärkeren relativen Anreicherung in der Kornfraktion 3,3-1,6 μm , eine größere freie, unverwachsene Quarzoberfläche, als für aschereiche Stäube nachweisen, was für eine stärkere Verwachsung und Bedeckung der Quarzpartikeloberfläche infolge des Mineralanteils spricht. Abbildung 35 zeigt die gefundene Korrelation zwischen freier Quarzoberfläche und TTC-Reduktionsaktivität

von Peritonealmakrophagen. Es fand sich eine direkte Abhängigkeit der Zytotoxizität von der freien Quarzoberfläche der Stäube des Ruhrreviers.

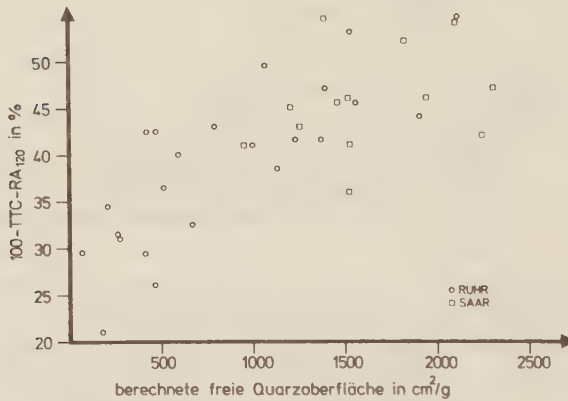


Abb. 35: 100 minus der Reduktionsaktivität von Peritonealmakrophagen 120 Minuten nach der Staubeinwirkung in Abhängigkeit zur berechneten freien Quarzoberfläche nach: NEBE und STRÜBEL 1983

Es gibt keinen Schnittpunkt mit der Abszisse, also keine Minimaldosis, unterhalb derer keine Zytotoxizität zu erwarten ist.

Für die Stäube des Saarreviers konnte diese Relation nur bei der Messung des Sauerstoffverbrauchs nachgewiesen werden. Die Versuchsanordnung liefert also nicht für alle Stäube sicher gleiche Korrelationen zwischen freier Quarzoberfläche und Zytotoxizität. Die Sicherung dieser Befunde durch ausgedehntere Untersuchungen bleibt abzuwarten. Nimmt man, mit HEPPLESTONS 1982 weiter oben beschriebenen Vorstellungen, einen Einfluß auf die Permeabilität der Alveolenwand, durch aus zerfallenden Makrophagenmembranen entstehende Mittlerstoffe an, und bedenkt das von KISSLER et al. 1982 beobachtete Eindringen von Quarzpartikeln in das Lungenparenchym über eine Zerstörung der Pneumozyten Typ I, so könnte nach BRUCH und Mitarbeitern 1983 vermutet werden, daß die Zytotoxizität der Stäube direkt ihre Penetrationsfähigkeit in die Lymphknoten steuert. Leider sind bei der Beurteilung von Zelltests die Grenzen zwischen Spekulation und Erkenntnis auch heute immer noch fließend.

Nach WELLER und ULMER 1972 werden im Vergleich zum Intrapertitoneal-, sowie Intratracheal- und Zelltest beim Inhalationstest der menschlichen Staubaufnahme näherkommende Bedingungen simuliert. Rhesusaffen (über 36 Monate) und Ratten (11-18 Monate) wurden täglich fünf Stunden lang an fünf Wochentagen einem artefiziellen Kohle-Quarzgemisch mit einem Quarzanteil von 30-35 % im Feinstaub exponiert. Fanden sich in den Rattenlungen intraalveoläre und perivaskuläre Granulome mit einem Fibrosegrad II nach KING, so wurden in den Affenlungen nach 36 Monaten fast ausschließlich peribronchiale und perivaskuläre Depots mit einer Fibrose dritten Grades gefunden. Die Ergebnisse der Staubrückgewinnung zeigen eine lineare Beziehung zwischen Expositionsdauer und Staubreten-tion.

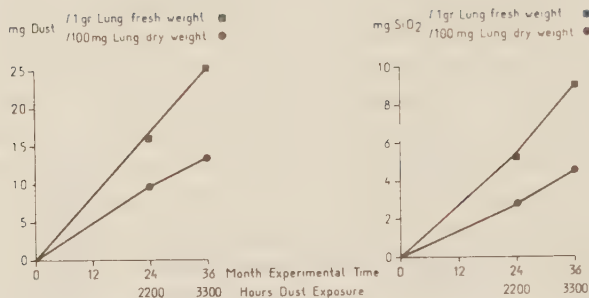


Abb. 36: Staubgehalt pro Gramm Lungenfrischgewicht bzw. 100 mg Trockengewicht bezogen auf die Expositionsdauer (Rhesusaffen)
nach: WELLER und ULMER 1972

Zeigte sich also - was den Bedingungen, unter denen Menschen Silikosen erwerben, sicherlich ähnlich ist - trotz hoher Quarzkonzentration und langer Versuchsdauer (drei Jahre!) eine doch eher geringe fibrotische Reaktion (es fanden sich dementsprechend, bis auf die Verminderung der statistischen Compliance, auch keine statistisch signifikanten Lungenfunktionseinbußen), so kann z.B. bei der Testung grubenechter Stäube mit in der Regel weitaus niedrigeren Quarzgehalten, die Lungenreaktion im Inhalationstest so diskret ausfallen, daß eine Beurteilung der Fibrogenität des Staubes erschwert wird. WELLER und ROSSMANITH 1983 verglichen Intrapertoneal-, Intratracheal- und Inhalationstest und fanden prinzipiell gleichwertige und vergleichbare Ergebnisse, bei jedoch erheblichen Unterschieden in der Dynamik. Wegen der schneller faßbaren Entwicklungen basieren die meisten tierexperimentell erforschten exposure-response Beziehungen auf

Intraperitoneal- oder Intratrachealtests, die sich, entgegen der beim Menschen typischen Aufnahme, mit der einmaligen Gabe des zu untersuchenden Staubes begnügen. REISNER et al. 1983 bemerkt, daß, obgleich ein durch intratracheale Injektion gesetztes Staubdepot im Alveolarbereich der Lunge keine quantitativen Rückschlüsse auf die Elimination, Retention und Penetration zuläßt, die dort auf natürliche Weise durch langzeitige Inhalation bewirkt wurden, sich aus dem Intratrachealtest doch Erkenntnisse über die Wirkungsart der verschiedenen Staubkomponenten ergeben, die den Ergebnissen von Inhalationsversuchen und Untersuchungen von Lungen verstorbener Bergleute ähnlich sind. Die Untersucher bestimmten anhand infrarotspektroskopischer Analysen von - sechs bzw. zwölf Monate nach intratrachealer Applikation von je 50 mg aus 43 grubenechten Feinstäuben - rückgewonnenen Lungen- und Lymphknotenstaub weiblicher Wistar Ratten die Abhängigkeit von Retention und Penetration der Stäube von ihrer Zusammensetzung. Es wurde eine deutliche Anreicherung von Quarz in den Lymphknoten gefunden, in die Anteile zwischen 7 % und 15 % penetrierten, wohingegen die Penetrationsrate von Kaolinit und den Bergemineralien mit 3-6 % bzw. 2-5 % niedriger lagen. Abbildung 37 veranschaulicht die gefundene Beziehung zwischen Quarzmenge im applizierten Staub und der in den Lymphknoten wiedergefundenen Quarzmenge.

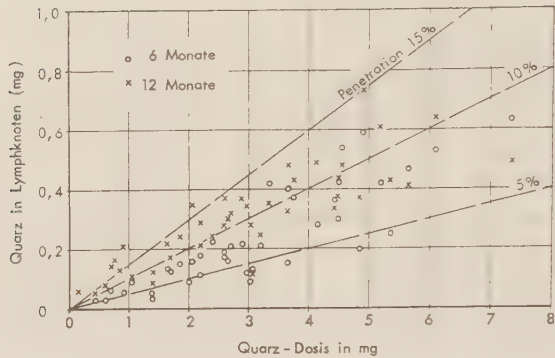


Abb. 37: Die Penetration des Quarzes in die Lymphknoten der Ratten sechs und zwölf Monate nach intratrachealer Injektion von 50 mg grubenechter Feinstäube
nach: REISNER et al. 1983

Eine ähnlich klare Beziehung zwischen Kohledosis und Penetrationsrate der Kohle konnte nicht gefunden werden.

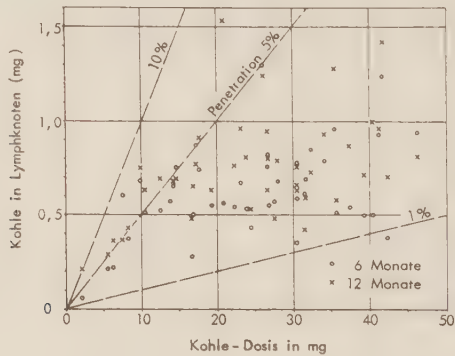


Abb. 38

Abb. 38: Die Penetration der Kohle in die Lymphknoten der Ratten sechs und zwölf Monate nach intratrachealer Injektion von 50 mg grubenechter Feinstäube

nach: REISNER et al. 1983

KLOSTERKÖTTER führte bereits 1967 die von ihm in einem Langzeitinhalationstest an Ratten gefundene Förderung der Penetration in das Interstitium von inertem Titanoxid durch einen geringen (3,4 %) Quarzanteil auf die zytopathogene Quarzwirkung zurück.

Expositionsende	mg TiO ₂ Lunge	mg TiO ₂ Lymphknoten
nach 20 h	11,075	0,104
nach 2 Monaten	8,229	0,326
nach 4 Monaten	7,760	0,396
nach 6 Monaten	7,282	0,492
nach 8 Monaten	6,207	0,529

Expositionsende	Lunge		Lymphknoten	
	mg TiO ₂	mg Quarz	mg TiO ₂	mg Quarz
nach 20 h	13,712	0,494	0,446	0,107
nach 2 Monaten	12,656	0,408	0,999	0,127
nach 4 Monaten	11,965	0,429	1,241	0,141
nach 6 Monaten	11,128	0,415	2,276	0,225
nach 8 Monaten	10,434	0,224	2,267	—

Tab. 5: Steigerung der Lymphknotenpenetration eines inertes Staubes durch Quarzbeimischung im Inhalationstest an Ratten

nach: KLOSTERKÖTTER 1967

ROSMANITH und Mitarbeiter 1983 fanden, im Intratrachealtest an Ratten mit grubenechten Stäuben, einen überproportionalen Anstieg der Gesamtstaubpenetration in die Lymphknoten nach zwölf Monaten bei steigendem Aschegehalt und somit auch Quarzgehalt der jeweiligen Stäube. Diese Erkenntnis unterstützt die anhand der Zelltests gewonnene Vermutung, daß die Penetration in das Lungeninterstitium direkte Folge der Zytotoxizität, und somit des Gesamtmineralgehalts der Stäube sein könnte.

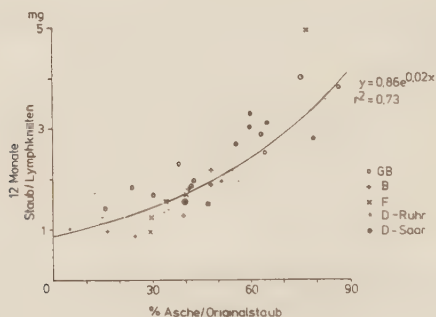


Abb. 39: Beziehung zwischen dem relativen Aschegehalt im Originalstaub und der retinierten Staubmasse in den Lymphknoten nach zwölfmonatiger Versuchsdauer

nach: ROSMANITH et al. 1983

WELLER wies 1977 anhand von Messungen der Lymphknotengewichte von Ratten nach intraperitonealer Gabe von 50 mg

BQT-Quarzstaub nach, daß die wesentliche Staubumverteilung in die Lymphknoten unmittelbar nach Applikation einsetzt, und nach etwa sechs Stunden weitgehend abgeschlossen ist.

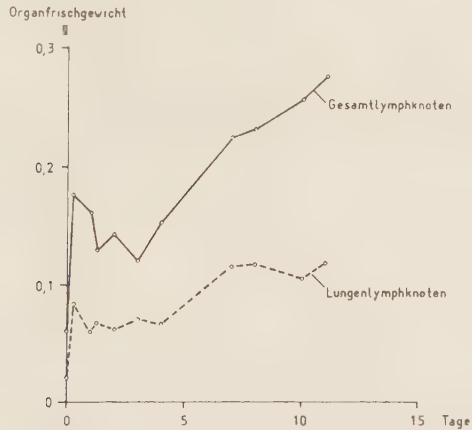


Abb. 40: Lymphknotenfrischgewichte nach intraperitonealer Injektion von 50 mg BQT-Quarzstaub an Ratten

nach: WELLER 1977

Ist der Quarzstaub in die Lymphknoten gelangt, so kann dort eine dosisabhängige Peaktion gemessen werden, auch wenn artifiziell Kohlenstaub zugemischt wird. Im Intraperitonealtest konnte WELLER 1977 die lineare Dosisabhängigkeit sowohl der Netz- als auch der Lymphknotengewichte nach Injektion reinen Quarzstaubes, ebenso wie nach Zumischung von Kohle nachweisen.

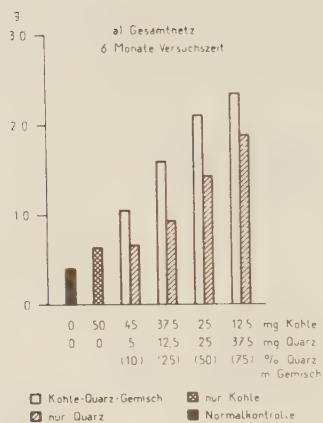


Abb. 41 a

Intraperitonealttest, Ratten
Gesamtlymphknoten (Nettogewichte)

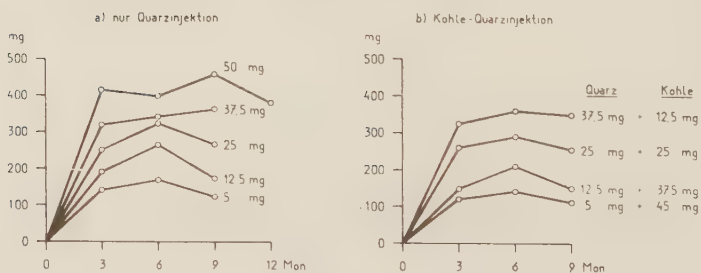


Abb. 41 b

Abb. 41 a u. b: a) Gesamtnetzgewichte.

Vergleich der quantitativen Wirkung von Kohle-Quarzgemischen und den entsprechenden Quarzanteilen nach sechs Monaten Versuchszeit.

b) Gesamtlymphknoten-Nettogewichte.

Zeitlicher Verlauf der quantitativen Reaktionen nach intraperitonealer Quarz- bzw. Kohle-Quarzgemischinjektion

nach: WELLER 1977

Histologisch fand sich nach intraperitonealer Injektion von 50 mg reiner Kohle, nach sechs Monaten ein inertes Staubdepot, von einer staubbezogenen, retikulären Faserbildung begleitet. Quarztypische Herde (Fibrosegrad II-III) fanden sich bereits bei der Gabe von 0,5 mg bzw. 1 % Quarz nach drei Monaten. Ein protektiver Einfluß der Kohle konnte bei dieser artefiziellen Mischung nicht festgestellt werden, wie Abbildung 42 belegt.

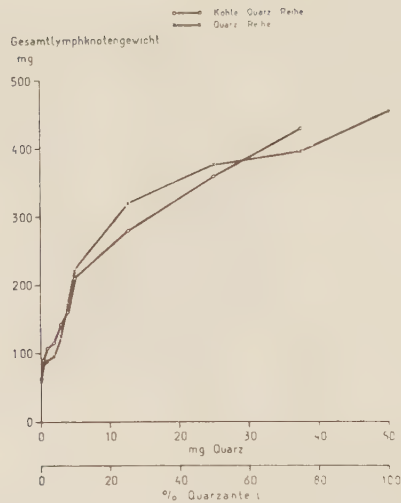


Abb. 42: Vergleich der quantitativen Wirkung von Kohle-Quarzgemischen mit 1 % bis 75 % Quarzzumischung und den entsprechenden reinen Quarzmengen. Gesamtlymphknotengewicht, Intraperitonealtest, Ratten, sechs Monate Versuchszeit. nach: WELLER 1977

Bei geringeren Quarzgehalten war MARTIN et al. 1972 - die von KLOSTERKÖTTER 1959 gemachte Beobachtung bestätigend - selbst bei artefiziellen Kohle-Quarzstaubgemischen im Inhalationstest an Ratten eine verzögerte, und auch insgesamt verminderte Kollagenbildung als Maß für die Fibrogenität aufgefallen. Der Staub, welcher 4 % Quarz enthielt, zeigte

erst nach 18 Monaten eine Zunahme der Kollagenbildung im Vergleich zum reinen Kohlenstaub. Über ähnliche Ergebnisse berichteten HILSCHER und SCHLIPKÖTER 1972. Sie fanden anhand des Intraperitonealtests an Ratten mit grubenechten Stäuben eine zunächst verzögerte, dann aber doch eindeutige Ausbildung quarztypischer Areale. Als Erklärung für die Verzögerung diskutierten sie eine Maskierung der Quarzoberfläche durch mineralische Anteile, deren Wirkung nach längerer Depositionsdauer durch Entmischung der Stäube nachläßt. Dementsprechend fanden MARTIN et al. 1972, mischten sie, anstatt der Gesamtkohle, nur den nach 18 Stunden bei 450 °C gewonnenen Ascheanteil zum Quarz, eine ähnliche, bei den einzelnen Kohlesorten unterschiedlich starke Suppression der Kollagenbildung.

Dust Injected (mg)	Weight of Lungs per 100 g of Rat's Weight (g)	Collagen Formed (mg)
Quartz (7.5)	1.38	27.4
Quartz (7.5) + mineral matter † from coal A	0.74	11.0
Quartz (7.5) + mineral matter † from coal B	0.75	9.4
Quartz (7.5) + mineral matter * from coal C	0.71	6.4
Quartz (7.5) + mineral matter * from coal D	0.86	10.0
Quartz (7.5) + mineral matter † from coal E	0.72	5.4
Quartz (7.5) + mineral matter * from coal F	0.72	3.2

* Mineral matter obtained by incinerating 50 mg of coal at 450°C for 18 hours.

Tab. 6: Kollagenbildung in den Lungen als Folge
der Exposition eines Gemisches aus Quarz
und den Mineralanteilen von sechs ver-
schiedenen Kohlearten
nach: MARTIN et al. 1972

1965 zeigte KLOSTERKÖTTER die unterschiedliche Fibrogenität eines Quarzanteils, der natürlich gewachsen im Tonschiefer vorkommt, und eines durch Mahlen gewonnenen Quarzes. Im Einklang mit KLOSTERKÖTTER wies LE BOUFFANT 1977 im Intratracheal- und Inhalationstest an Ratten eine minimale, jedoch meßbare Fibrogenität der Begleitminerale nach; die von ihm untersuchten Bestandteile mit zunehmender Fibrogenität: Kaolin, Illit, Muskovit, Quarz. 1982 maßen LE BOUFFANT und Mitarbeiter im Intratrachealtest an Ratten Lungengewicht, Fett- und Kollagengehalt bis zu 24 Monate nach Injektion von reinem Quarz, aus grubenechten Stäuben extrahiertem Quarz, reinem Kohlenstaub, artefiziellen Kohle-Quarzgemischen, sowie grubenechten Stäuben. Natürlich vorkommende Sandarten zeigen nach zunächst unterschiedlicher Fibrogenität, nach Beseitigung von "Unreinheiten" (Al, Fe, Ca, Mg und Ti) die gleiche Toxizität wie ein Referenzquarz, was sich in einer Verzögerung der Kollagenbildung ausdrückt.

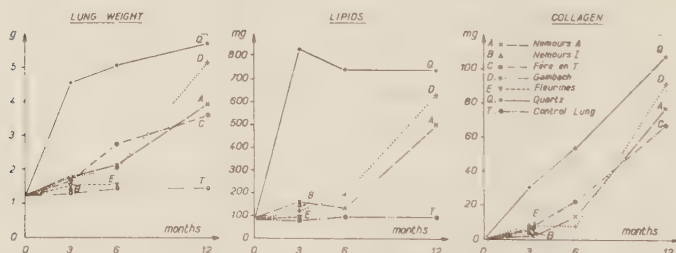


Abb. 43: Veränderliche Toxizität verschiedener Sandarten als eine Funktion ihrer Verweildauer in den Lungen
nach: LE BOUFFANT et al. 1982

Eine ähnliche "intrinsic toxicity" konnten die Untersucher anhand der Extraktion des Quarzanteils grubenechter Stäube nachweisen. Bei vergleichbaren Konzentrationen zeigten unbehandelte grubenechte Stäube im Vergleich zur Injektion reiner Kohle keine wesentlichen Unterschiede, wohingegen artefizielle Gemische eine deutliche Zunahme von Lungengewicht und Kollagenbildung erkennen ließen.

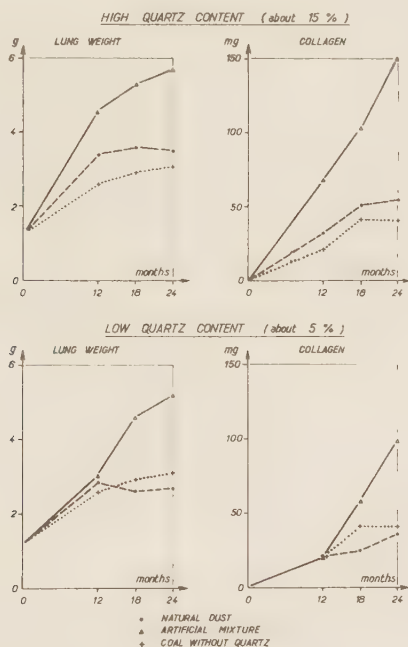


Abb. 44: Toxizitätsvergleich zwischen Kohlenstaub, grubenechtem Staub und einem artefiziellen Gemisch vergleichbarer Quarzkonzentration nach: LE BOUFFANT et al. 1982

Im Intraperitonealtest von grubenechten Stäuben (WELLER 1983) läßt sich eine eindeutige Beziehung zwischen Quarzgehalt und Gesamtlymphknotengewicht ermitteln, wobei jedoch, verglichen mit einem Referenzquarz, die Zunahme der Toxizität mit steigendem Quarz- und somit auch Aschegehalt deutlich verzögert war. Setzt man die Differenz aus dem durch reinen Quarzstaub und dem durch grubenechte Stäube bewirkten Lymphknotengewicht in Relation zum Illit/Muskowitgehalt der Stäube, so ergibt sich eine lineare Korrelation. Der Untersucher begründet damit seine Hypothese, daß der Illit/Muskowitgehalt von grubenechten Stäuben als ursächlich für die im Vergleich zu reinem Quarz reduzierte Wirkung anzusehen ist. Das kontinuierliche Fortschreiten der quantitativen Reaktion erklärt WELLER mit einer möglichen Ablösung der Oberflächenbedeckung intra vitam.

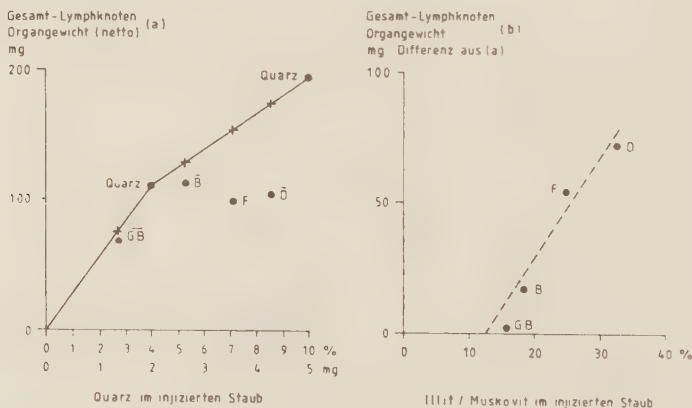


Abb. 45

- Abb. 45: a) Beziehungen zwischen dem mittleren Quarzgehalt der Staubgruppen und dem mittleren Gesamtlymphknotengewicht dieser Gruppen nach 24 Monaten Versuchszeit
- b) Beziehung zwischen Silikatgehalt und der Differenz zwischen Istwert und Sollwert nach: WELLER 1983

Geht man also von einer, bereits in Kapitel II veranschaulichten Oberflächenbedeckung natürlich vorkommender Quarze durch Begleitmineralien aus (die in vivo offenbar nur passagerer Natur ist), so reiht sich die von HILSCHER et al. 1983 gefundene Beziehung zwischen der freien Quarzoberfläche und der Ausdehnung der, sechs Monate nach intratrachealer Gabe grubenechter Feinstäube an Ratten morphometrisch ermittelten Ausdehnung quarztypischer Areale (QTA) in den Lymphknoten, in das aktuelle Mosaik tierexperimenteller Erkenntnisse über Dosis-Wirkungsbeziehungen quarzhaltiger Stäube.

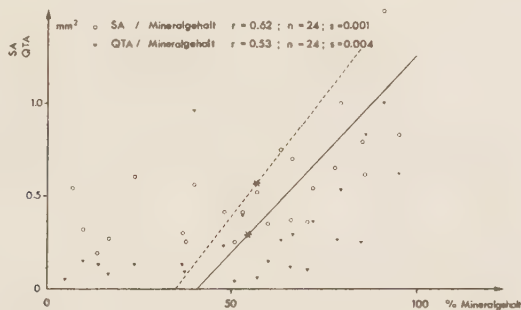


Abb. 46 a

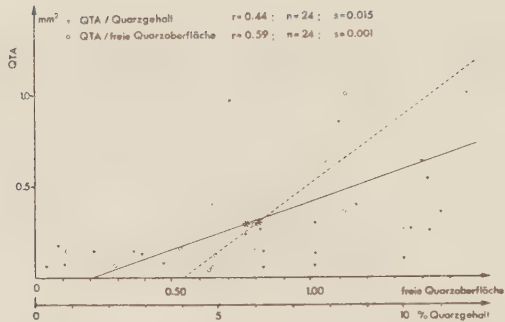


Abb. 46 b

- Abb. 46: a) Korrelationen zwischen Mineralgehalt und quarztypischen bzw. staubtypischen Arealen
- b) Korrelationen zwischen dem Quarzgehalt (Dreiecke) sowie der freien Quarzoberfläche (Kreise) und der Ausdehnung der quarztypischen Areale
- nach: HILSCHER et al. 1983

Eine signifikante Beeinträchtigung kardiorespiratorischer Funktionsparameter konnten WELLER und ULMER 1972 und WELLER 1977, bei den im Rahmen von Inhalationstesten auftretenden leichten bis mittleren silikotischen Veränderungen, bis auf eine herabgesetzte statische Compliance, nicht nachweisen. KUNCOVA et al. 1971 und 1972 konnten jedoch drei Monate nach intratrachealer Injektion von 50 mg Quarz erhebliche Funktionseinbußen, einschließlich einer um etwa 100 % erhöhten Lungen-Resistance an Ratten nachweisen, wie Tabelle 7 zu entnehmen ist.

	Normal- kontrolle	50 mg Quarz intratracheal	Abweichung von Normalkontrolle in %
Tiergewicht (g)	255	247	- 3 %
Lungenfrisch- gewicht (g)	1.07	6.69	+ 525 %
Atemfrequenz (l/min)	112	137	+ 22 %
Atemtiefe (ml)	1.78	1.68	- 6 %
Atemminuten- volumen (ml)	198	225	+ 14 %
Compliance (ml/cm H ₂ O)	0.977	0.370	- 62 %
thorakales Gas- volumen (ml)	5.60	7.94	+ 42 %
PO ₂ art. (mm Hg)	79.5	62.5	- 21 %
PCO ₂ art. (mm Hg)	43.2	39.9	- 8 %

Tab. 7: Lungenfunktion von Ratten drei Monate nach intratrachealer Injektion von 50 mg Quarz; unbenandelte Kontrollen (nach Ergebnissen von KUNCOVA et al. 1971 und KUNCOVA et al. 1972)
nach: WELLER 1977

MANCI et al. 1971, ULMER 1967, ULMER et al. 1972 sowie ULMER 1976 berichten im Einklang dazu, daß auch bei Kohlenbergarbeitern Lungenfunktionsstörungen erst ab dem röntgenologischen Stadium B und C, im Vergleich zur nichtstaubexponierten Bevölkerung, signifikant gehäuft auftreten.

Zusammenfassend kann also ein Zusammenhang angenommen werden, zwischen der Höhe des Quarz- und Ascheanteils eines quarzhaltigen Mischstaubes, und dem Ausmaß der Penetration des Gesamtstaubes - wobei es zur Anreicherung des Quarzanteils kommt - in Interstitium und Lymphknoten. Eine lineare Beziehung zwischen Quarzdosis und quantitativem Gewebseffekt wird nachgewiesen. Diese Wirkung wird in natürlich vorkommenden Stäuben, offenbar infolge Bedeckung eines Teils der Quarzoberfläche durch den Mineralanteil dieser Stäube, in Korrelation mit der Quantität des Ascheanteils gehemmt. Löst sich die schützende Bedeckung während der Verweilzeit in vivo allmählich ab, so kann die fibrogene Wirkung der gesamten Quarzoberfläche zur Entfaltung kommen. Eine Minimalkonzentration für Quarzstaub, unterhalb derer kein fibrogener Effekt nachgewiesen werden kann, wird nicht angegeben. Lungenfunktionseinbußen können - entsprechend den Erkenntnissen über die menschliche Silikose - bei leichter und mittlerer Ausprägung der silikotischen Veränderungen nicht nachgewiesen werden.

11.

2. Epidemiologie

a) Beziehungen zwischen Exposition und pathologischen sowie röntgenologischen Ergebnissen

Im Gegensatz zu tierexperimentellen Bedingungen - welche allerdings realistische Expositionsbedingungen nur unzureichend simulieren - ist man bei epidemiologischen Erhebungen, hinsichtlich des Ausmaßes der Exposition oft auf Schätzungen oder gar Hilfsparameter wie die Expositionsdauer angewiesen. EINBRODT und KLOSTERKÜTTER 1965 bestimmten den Lungenquarzstaubgehalt von 65 verstorbenen Bergleuten aus dem Kohlenbergbau des Ruhrgebietes. Die von ihnen ermittelte Korrelation zwischen dem Gehalt an freiem SiO_2 pro 100 mg fettfreien Lungengewebes, Röntgenkategorie und der mittleren Verweildauer des Staubes in vivo ($\frac{\text{Expositionszeit in J.}}{2} + \text{Intervall bis zum Tode in Jahren}$) ist in Abbildung 47 wiedergegeben.

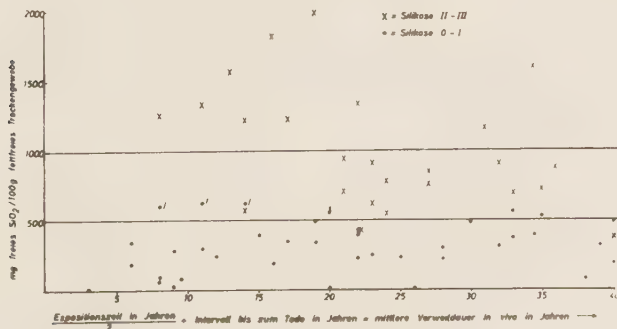


Abb. 47

Abb. 47: Abhängigkeit des Silikosegrades vom
freien SiO_2 /100 g Trockengewebe und
von der Verweildauer des Staubes in
Lungen verstorbener Bergleute

nach: EINBRODT und KLOSTERKÖTTER 1965

Da der Quarzstaub in vivo ja seine Fibrogenität nicht verliert, und von einem Fortschreiten der Veränderungen nach der Exposition ausgegangen werden muß, wird hierbei zur Expositionszeit das Intervall bis zum Tode in Jahren hinzugezählt.

Ein frühes Auftreten (Expositionszeit < 20 J.) ist SiO_2 -Gehalten von über 1 g/100 mg Lungentrockengewicht zu erwarten, wobei unberücksichtigt bleibt, ob eine höhere Quarzstaubexposition, oder individuelle Faktoren die rasche Anreicherung des SiO_2 bewirkt haben. Lungenquarzstaubgehalte von 0,5-1 g bewirken schwere röntgenologische Veränderungen erst nach längerer mittlerer Verweildauer (20-40 J.). Geringere SiO_2 Mengen führen - mit zwei Ausnahmen - auch zu leichteren silikotischen Veränderungen. Ergebnisse der gleichen Untersucher, aufgrund der Befunde von über 250 Obduktionen staubexponierter Personen, zeigen, daß m.E. von der jährlichen Ablagerung von gewebsunlöslichen Stäuben, auf das Ausmaß der Staubbelastung zu Lebzeiten geschlossen werden kann.

jährliche Staubbablagerung pro Lunge	Staubbelastung zu Lebzeiten
bis 0,2 g 0,2—0,5 g 0,5—1,0 g über 1,0 g	nicht nennenswert leicht bis mäßig mäßig bis stark stark

Tab. 8: Staubbelastung zu Lebzeiten, ermittelt
aus der jährlichen Staubbablagerung in
der Lunge
nach: EINBRÖDT und KLOSTERKÖTTER 1965

ROSMANITH et al. 1983 weisen allerdings darauf hin, daß man aufgrund der hohen Mobilität quarzhaltiger Stäube, infolge derer es zur vermehrten Penetration in die Lymphknoten und Elimination aus dem Lungengewebe komme, keinen Zusammenhang zwischen der retinierten Staubmasse und der Fibrogenität eines Staubes erwarten könne. Entsprechend den Ergebnissen von EINBRÖDT und KLOSTERKÖTTER 1965 fand jedoch auch NAEYE 1972 eine positive Korrelation zwischen dem Lungenquarzstaubgehalt von 113 pennsylvanischen Bergleuten, die vorwiegend aschereiche Fettkohle gefördert hatten, und dem röntgenologischen Stadium.

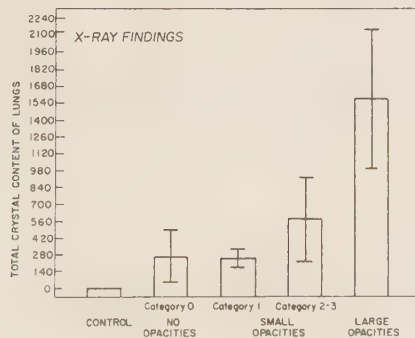


Abb. 48

Abb. 48: Korrelation von Röntgenkategorie und Gesamtquarzgehalt der Lungen von 113 pennsylvanischen Bergleuten

nach: NAEYE 1972

DCBREVA et al. 1977 berichten anhand von Untersuchungen an 25 Silikotikern aus dem Erzbergbau, Tunnelbau und aus Steinbruchbetrieben, welche etwa 20-25 % Quarz enthaltenden Stäuben ausgesetzt waren, über eine frühere und schwerere Ausbildung silikotischer Läsionen, als bei vergleichbaren Lungenquarzstaubgehalten von Kohlenbergarbeitern mit längeren mittleren Verweildauern. Diese Ergebnisse deuten an, daß nicht allein die Menge an SiO_2 , sondern auch die Inkorporationszeit, sowie der Quarzgehalt des inhalierten Staubes Einfluß auf die Ausprägung der fibrotischen Läsionen haben. Ähnliche Beziehungen wie die, von DAVIS et al. 1977 an 74 britischen Kohlenbergarbeitern ebenfalls beobachteten zwischen Lungenquarzstaubgehalt und Röntgenkategorie, fand NAEYE 1972 zwischen dem prozentualen, von Staubknötchen eingenommenen Lungenanteil und der Röntgenkategorie, sowie dem relativen Kollagengehalt und der Röntgenkategorie. Ein deutlicher Anstieg der prozentualen Hypertrophie des rechten Ventrikels zeigte sich bei den röntgenologisch großschwierigen Silikosen. Signifikante Unterschiede zwischen Bergleuten mit chronischer Dyspnoe und solchen, die zu Lebzeiten beschwerdefrei waren, fanden sich lediglich hinsichtlich des Herzgewichts, der relativen Zunahme des rechtsventrikulären Myokarddurchmessers und des Emphyseindex.

Kollagen- und Quarzgehalt unterschieden sich nicht signifikant zwischen den beiden Gruppen. Von einer Expositionszeit von 20 Jahren aufwärts, korrelieren Lungenquarzgehalt und der Anteil silikotischen Gewebes an der Gesamtlunge positiv mit der Exposition. Als Zeichen der nur allmählich wirkenden Fibrogenität der geförderten Fettkohle fand sich erst nach 30 Jahren Exposition eine signifikant mit der Expositionsdauer ansteigende Kollagenbildung. Emphyseindex und rechtsventrikuläre Hypertrophie sind zwar, wie jeder andere oben genannte Parameter, unabhängig von der Expositionszeit, im Vergleich zu nicht staubexponierten Kontrollen signifikant erhöht, zeigen jedoch eine lediglich tendenzielle, aber nicht signifikante Abhängigkeit von der unter Tage verbrachten Lebensarbeitszeit. Raucher entwickelten ein, verglichen mit Nichtrauchern, signifikant ausgeprägteres Emphysem mit Cor pulmonale.

	2-19	Years of Exposure to Coal Dust		
		20-29	30-39	40+
Cardiac right ventricular thickness in % of controls	144 ± 7 *	156 ± 74 *	171 ± 57 *	176 ± 83 *
% of lungs comprised of dust macules & nodules	2.2 ± 1.7 *	1.1 ± 0.9 * †	2.6 ± 3.0 * †	3.3 ± 4.5 *
Total crystal content of lungs	93 ± 90 *	213 ± 106 * †	407 ± 212 * †	614 ± 371 * †
% lungs comprised of collagen in macules, nodules	32 ± 31 *	32 ± 27 *	.57 ± .26 * †	.93 ± 41 * †
Ratio of goblet to nongoblet cells in airways	1.85 ± 1.57 *	1.87 ± 1.73 *	1.73 ± 1.71 *	1.114 ± 1.122 *
Emphysema index				
% lungs comprised of abnormal air space	26 ± 13 *	24 ± 12 *	30 ± 9 *	29 ± 12 *

* P value by comparison with control subjects < 0.05.

† P value of comparison with next lower level of exposure < 0.05.

Tab. 9

Tab. 9: Beziehungen zwischen Arbeitszeit unter Tage und den Ergebnissen der quantitativen Auswertung von Herz- und Lungenveränderungen

nach: NAEYE 1972

Auch LEIGH et al. 1982 fanden bei 186 australischen Bergleuten signifikante Korrelationen zwischen dem postmortal gefundenen Pneumokoniosegrad und der Röntgenkategorie, sowie der Expositionsdauer unter Tage. Ebenso wie sich also positive Korrelationen zwischen Expositionszeit unter Tage und Quarz-, Staubgranulom- und Kollagenanteil an der Gesamtlunge ergeben, findet sich eine eindeutige Beziehung zwischen röntgenologischem Stadium und dem Granulom- bzw. Kollagenanteil der Lungen.

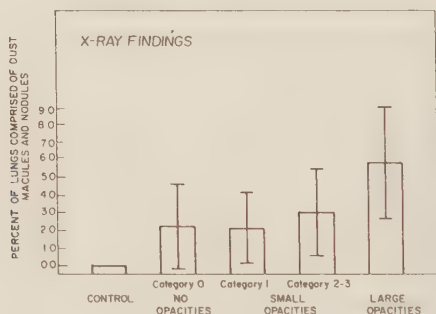


Abb. 49: Röntgenkategorie im Vergleich zum prozentual von Granulomen eingenommenen Volumen

nach: NAEYE 1972

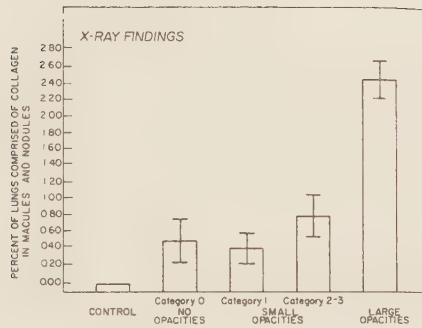


Abb. 50: Röntgenkategorie im Verhältnis zum
Kollagenanteil des Lungengewebes
nach: NAEYE et al. 1972

Eine klare Korrelation ($r = 0,9$) zwischen der aus dem pathologisch gefundenen Kohlenstaub- und Mineralgehalt theoretisch ermittelten, und der tatsächlichen Röntgenkategorie, fanden für die Kategorien A ROSSITER 1972 an über 100 britischen Kohlenbergarbeitern.

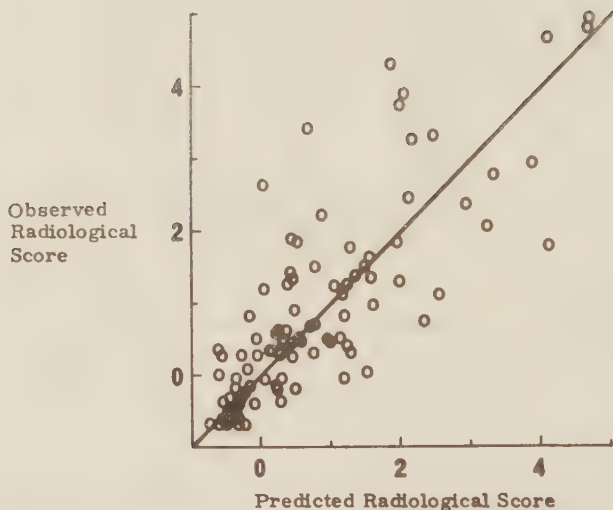


Abb. 51: Vergleich der aus dem Verhältnis Kohle/Mineralgehalt ermittelten, und der röntgenologischen Silikosekategorie bei simple CWP
nach: ROSSITER 1972

DAVIS et al. 1977 bestätigten die Überwiegend gute Übereinstimmung von röntgenologischen und pathologischen Ergebnissen. Ihre in Tabelle 10 wiedergegebene Aufstellung zeigt jedoch, daß es im Einzelfall durchaus erhebliche Divergenzen geben kann. So fand sich in einem in die Kategorie 0 nach ILO eingestuften Fall eine großschwierige Sili-

kose, wohingegen ein Fall, der röntgenologisch als grob-schwerelig eingestuft wurde, pathologisch lediglich leichtere Veränderungen aufwies.

Pathological classification	Radiological category (N.C.B. elaboration of I.L.O. classification)										
	0/0	0/1	1/0	1/1	1/2	2/1	2/2	2/3	3/2	3/3	PMF
Soft macules	6		-				-		-		1
Fibrotic lesions	7		5				3		1		1
PMF	1		1				-		-		19

Tab. 10: Vergleich der radiologischen Klassifikation mit den pathologischen Befunden

nach: DAVIS et al. 1977

Die positive Korrelation von post mortem- und Röntgenkategorie und der Expositionszeit wird auch durch Untersuchungen von GLICK 1972 und LEIGH et al. 1982 bestätigt. Diese Untersucher fanden ebenfalls positive Korrelationen zwischen Expositionszeit, Silikosegrad und postmortaler Ausprägung des Emphysems, die im Vergleich zu nichtstaubexponierten gleichaltrigen Personen signifikant erhöht war.

Zwar beschreibt ROSSITER 1972 den röntgenkategorieverstärkenden Einfluß von Lebensalter und z.B. Eisengehalt der Lungen, doch konnten Untersuchungen von LIDFELL 1972 belegen, daß die Korrelation zwischen pathologischen und röntgeno-

logischen Veränderungen auch nach Korrektur hinsichtlich Alter und Eisengehalt weiterbesteht. War lange Zeit die Zunahme der Silikoseinzidenz mit dem Inkohlungsgrad der auf den einzelnen Zechen abgebauten Kohle bekannt, so fand sich doch tierexperimentell eine höhere Fibrogenität der asche- und somit auch quarzreichen Stäube. Die von NAEYE 1972 bestimmten Staubmengen zeigen nun eindeutig, daß die in Anthrazitzechen beobachteten schweren Verläufe auch mit einem erhöhten Quarzgehalt der Lunge einhergehen.

	Low Rank Bituminous	Higher Rank Bituminous	High Rank Anthracite	Control Subjects
Heart weight (g)	430 ± 116	450 ± 117	431 ± 112 *	402 ± 91
Cardiac right ventricular thickness in % of controls	133 ± 51 *	169 ± 74 * †	153 ± 62 *	100 ± 21
% of lungs comprised of dust macules & nodules	2.0 ± 2.8 *	3.6 ± 4.2 * †	10.1 ± 10.8 * †	0
Total crystal content of lungs	160 ± 141 *	756 ± 416 * †	6767 ± 3418 * †	0
% of lungs comprised of collagen in macules & nodules	.38 ± .22 *	1.37 ± .45 * †	6.67 ± 3.95 * †	0
Ratio of goblet to nongoblet cells in airways	1:143 ± 1:157	1:107 ± 1:108 * †	1:98 ± 1:59 *	1:400
Age, years	68 ± 13	67 ± 10	65 ± 10	66 ± 12
Underground exposure in years	41 ± 12	35 ± 10	33 ± 14	0

* P value by comparison with control subjects < 0.05.

† P value of comparison between adjacent rank miners < 0.05.

Tab. 11: Quantitative Herz- und Lungenveränderungen in Beziehung zum Inkohlungsgrad der jeweils gefördert Kohle
nach: NAEYE 1972

Man muß deshalb mit BENNETT et al. 1979, die die Abhängigkeit röntgenologischer Veränderungen vom Inkohlungsgrad und der gemessenen Massekonzentrationen untersuchten, zu dem Schluß kommen, daß das erhöhte Silikoserisiko bei noch inkohlten Flözen offenbar mit einer erhöhten Staubexposition einhergeht; diese mag abbautechnisch bedingt sein, möglicherweise ist sie auch Folge der unter Kapitel IV beschriebenen meßtechnischen Unterschätzung der alveolargängigen Konzentration aschearmer Stäube. Die höhere fibroge-
ne Potenz aschereicher Kohlenstäube auch in vivo deuten die von ROSSITER 1972 gefundenen, in Tabelle 11 wiedergegebenen Beziehungen zwischen Röntgenkategorie, Gesamtstaubgehalt der Lungen von 145 britischen Bergleuten und dem Inkohlungsgrad der geförderten Kohle an. Bei niedrig inkohlter, also quarzreicher Kohle reichen offenbar geringere Staubmengen zur Ausbildung der jeweiligen Röntgenkategorie, als bei hoch inkohlter Anthrazitkohle.

Radiographic change	Total Dust (g)		
	80% coal	60% coal	40% coal
Midcategory 1	18.1	13.3	10.5
Midcategory 2	36.3	26.6	21.1

Tab. 12: Beziehungen zwischen Lungengesamtstaubgehalt, Röntgenkategorie und Inkohlungsgrad
nach: ROSSITER 1972

Hierbei sei aber die Beobachtung von NEBE und STRÜBEL 1983 bemerkt, daß, bei vergleichbaren Quarzgehalten, hochinkohlte Stäube eine größere freie Quarzoberfläche als asche-reiche Stäube aufweisen, wodurch eine höhere relative fibrogene Potenz in vivo erklärbar würde.

Die positiven Korrelationen zwischen Expositionsdauer, Lungenquarzstaubgehalt und pathologischer sowie röntgenologischer Silikosekategorie sind eindeutig belegt. Da bei epidemiologischen Erhebungen häufig die Expositionszeit als einziger Parameter zur Verfügung steht, kann auf das Ausmaß der Quarzstaubexposition und die Gefährlichkeit des inhalierten Staubes oftmals nur von der Expositionsdauer und dem Zeitraum bis zum Auftreten erster röntgenologischer Veränderungen geschlossen werden. Im Einzelfall findet sich aber eine gute Übereinstimmung zwischen Ausmaß der Exposition und Entwicklungszeit der Silikose; so berichtet SURBÖCK 1966, zitiert nach REICHEL 1976, über die Entwicklung schwerer Silikosen nach nur vier bis neun Monaten Expositionszeit im österreichischen Tunnelbau, bei deren Entwicklung dementsprechend Quarzstaubkonzentrationen von bis zu 3500 T/m^3 , bei einem Quarzgehalt bis 24 % gemessen wurden. Die von REICHEL 1976 veröffentlichte Zusammenstellung von Literaturangaben über die Entwicklungszeit von Silikosen zeigt im folgenden die unterschiedliche Exposition unterschiedlich quarzhaltiger Mischstäube, an verschiedenen Arbeitsplätzen und -materialien, ausgedrückt durch die durchschnittlichen, und die besonders kurzen Expositionszeiten, die zu Röntgenveränderungen bzw. klinischen Symptomen führten.

Betriebsart	Durchschnittliche Expositionszeit (Jahre)		Literatur	Entwicklung von Rö.-Veränderungen nach kurzen Expositionszeiten	Literatur
	Rö.- Veränd.	Entschäd. oder klin. Sympt.			
<i>Putzmittel- industrie</i>					
Quarzmehl	1—26	3—41	BOGETTI <i>et al.</i> (1964), GERLACH <i>et al.</i> (1932), GIESE (1931)	3—12 Monate 4—11 Monate	RITTERHOFF (1941) RÖSSING (1947)
	Mittel 8		GUDJONSSON <i>et al.</i> (1934), McDONALD <i>et al.</i> (1930), RÖSSING (1947), STURM <i>et al.</i> (1968)	8—29 Monate	CHAPMANN (1932)

Tab. 13: Entwicklungszeiten bis zum Auftreten
erster röntgenologischer Veränderungen
bzw. Krankheitssymptome in der Putzmittel-
industrie

nach: REICHEL 1976

Kieselgur- Pneumokoniose	Durchschnittliche Expositionszeit bis zum Auftreten von Rö.-Verände- rungen (Jahre)	Literatur	Entwicklung von Rö.-Veränderungen nach kurzen Expositionszeiten	Literatur
Rohgur- (bis 4% Quarz)	Silikosen bei quarzhaltigen Lagerstätten			
Kalzinierte Gur (niedriger Cristobalitgehalt)	6-12	WENDE (1962)	22 Monate	WENDE (1962)
Aktivierte Gur (40-60% Cristo- balit)	3-5	VIGLIANI <i>et al.</i> (1948) GERVAIS (1954)	8 Monate 10 Monate	CHAMPEIX, ALLAUX (1958) WENDE (1962)

Tab. 14: Entwicklungszeiten bis zum Auftreten
erster röntgenologischer Veränderungen
bzw. Krankheitssymptome bei der Kiesel-
gurpneumokoniose

nach: REICHEL 1976

Betriebsart	Durchschnittliche Expositionszeit (Jahre)		Literatur	Entwicklung von Rö.-Veränderungen nach kurzen Expositionszeiten (Jahre)	Literatur
	Rö.- Veränd.	Entschäd. oder klin. Sympt.			
<i>Sandstrahler</i>				(akute Silikosen)	
		4 6	BERGERHOFF (1936),	6 Monate	BERGERHOFF
		3	HAUBRICH (1951a),		(1936)
		2-4	SCHMID (1956)	7 Monate	SCHMID (1956)
				8,5 Monate	SIMONIN (1950)
				13 Monate	MOHNKE (1952)
<i>Schleifer</i>					
a) Sandstein- schleifsteine (dürfen in der BRD nicht mehr verwendet werden)		6-35	BERGERHOFF (1938), FRESE (1936), JÖTTEN (1933), LANG (1952), SCHNELLBACHER (1939) WORTH, SCHILLER (1954)	3-4	FRESE (1936), SCHNELLBACHER (1939)
b) Schleifen mit quarzhaltigem Bimsstein	5-20	21-30	BURCKHARDT <i>et al.</i> (1962), SOMMER (1949)		
c) Polieren (Quarzmehl)	4 (Latenz) (6-17)	6	JINDRICOVA <i>et al.</i> (1964), Schneider (1966)		
d) Schleifpapier und Schleif- scheiben	5-30		SAITA, TUROLLA (1953)		
e) Künstliche Schleifsteine ohne wesentliche Quarzbeimischung	Anthrakosiderosen 10-16 (Rö.-Klassifikation) (L und Z)		BONZANINO <i>et al.</i> (1965), PETTINATI <i>et al.</i> (1962), ZOLLINGER, LANG (1950)		
f) Künstliche Schleifsteine (Schmalkalder Schleiferlunge)	Lungenverstaubung keine Silikose 10 (Rö.-Klassifikation) (L und Z)		HEUER (1962) KÜHNE (1960, 1965)		

Tab. 15: Entwicklungszeiten bis zum Auftreten
erster röntgenologischer Veränderungen
bzw. Krankheitssymptome bei der Schleifer-
silikose

nach: REICHEL 1976

Durchschnittliche Expositionszeit Jahre bis zur Entschäd. oder klin. Sympt.	Literatur	Entwicklung von Rö.-Veränderungen nach kurzen Expositionszeiten	Literatur
(Schweiz) 8,9	GREINACHER (1945)	4 Monate	GREINACHER (1945)
(Österreich) 13,6	SURBÖCK (1966)	4-9 Monate unter 1 Jahr	DECROIX <i>et al.</i> (1962), SURBÖCK (1966)
9 Monate bis 3 Jahre	LANG, ZOLLINGER (1949)	4 Monate 4-14 Monate	NICOD (1950) CHARLES <i>et al.</i> (1948), RAYMOND, WOLFF (1949)
(Latenzzeit 4 Jahre bis 9 Monate)		18 Monate	GROHMANN (1951)
		35 Tage (280 Arbeitsstunden)	ROULET, BOUCHER (1946)
		35 Tage	MAGNIN (1938)
		30 Tage (Latenzzeit 15 Jahre)	FRITZE (1967)

Tab. 16: Entwicklungszeiten bis zum Auftreten
erster röntgenologischer Veränderungen
bzw. Krankheitssymptome bei der "Mineur-
silikose"

nach: REICHEL 1976

Betriebsart	Durchschnittliche Expositionszeit (Jahre)		Literatur	Entwicklung von Rö.-Veränderungen nach kurzen Expositionszeiten (Jahre)	Literatur
	Rö.- Veränd.	Entschäd. oder klin. Sympt.			
<i>Herstellung oder Verarbeitung von feuerfesten Steinen</i>					
a) Saure Steine (Silica und Dinaerzeugnisse)	3 – 14		HAUBRICH (1951) LOCHTKEMPER <i>et al.</i> (1932) STETTER (1934)	13 Monate	LOCHTKEMPER <i>et al.</i> (1932)
b) Halbsaure Steine	8		LOCHTKEMPER <i>et al.</i> (1932)	2	LANG (1952)
c) Basische Chamottesteine	15 - 40		KOELSCH (1937) LOCHTKEMPER <i>et al.</i> (1932) STALKER (1945) STETTER (1930)	5 Jahre 8 Monate	LOECKELL <i>et al.</i> (1961)
d) Ziegelei und Tonindustrie	15 - 20		STETTER (1930)	10	HAUBRICH (1951)
<i>Keramische Industrie</i>					
a) Porzellan Steingut Keramik	10 – 40		AHLMARK <i>et al.</i> (1962) AMORATI <i>et al.</i> (1961) KOELSCH (1937) WORTH (1961)	6 9	HAUBRICH (1951) LANG (1952)
b) Wandfliesen Fußbodenplatten	10 – 15		IRMSCHER (1962)		

Tab. 17: Entwicklungszeiten bis zum Auftreten
erster röntgenologischer Veränderungen
bzw. Krankheitssymptome bei der Verar-
beitung von feuerfesten Steinen und in
der keramischen Industrie

nach: REICHEL 1976

Betriebsart	Durchschnittliche Expositionszeit (Jahre)		Literatur	Entwicklung von Rö.-Veränderungen nach kurzen Expositionszeiten (Jahre)	Literatur
	Rö.- Veränd.	Entschäd. oder klin. Sympt.			
<i>Kohlenbergbau</i>					
Ruhrgebiet, Aachen und Niederrhein					
vor 1935 (Gesteinshauer)	13 10 15)		REICHMANN, SCHÜRMANN (1935)	4	REICHMANN, SCHÜRMANN (1935)
			SCHULTE, HUSTEN (1936)		
1929 - 1941 (Gesteinshauer)	10 - 15 10		ZORN (1949)		
				5 - 10	WORTH <i>et al.</i> (1950 a, b)
				6 8	DI BIASI (1949 a, b)
1953 - 1963	8 - 15		REISNER (1968)	4	BECKMANN <i>et al.</i> (1959)
				3	BAADER (1950)
				4	HERTLE <i>et al.</i> (1963)
1966 - 1970 1972		26,6 26,3	WOHLBEREDT (1972)	18 Monate	MAGNIN <i>et al.</i> (1950) (Sevenner Grubenrevier)
<i>Kohlentrimmer</i>					
	25 4 - 45		GOUGH (1940) HARPER (1935)		
<i>Graphitgruben</i>	18,5		COSCIA <i>et al.</i> (1963)	5 - 10	COSCIA <i>et al.</i> (1963)
			SKLENSKY <i>et al.</i> (1963)	3	SKLENSKY <i>et al.</i> (1963)
	20,6		RANASINHA <i>et al.</i> (1972)		

Tab. 18: Entwicklungszeiten bis zum Auftreten
erster röntgenologischer Veränderungen
bzw. Krankheitssymptome im Kohlenbergbau
nach: REICHEL 1976

Betriebsart	Durchschnittliche Expositionszeit (Jahre)		Literatur	Entwicklung von Rö.-Veränderungen oder kurzen Expositionszeiten	Literatur
	Rö.- Veränd.	Entschäd. oder klin. Sympt.			
<i>Gießereien</i>	18	28,2 29,9 – 31,4 20 – 40	OBRIST (1949) GREGORY (1970), GILSON <i>et al.</i> (1969) UEHLINGER (1949) SURBÖCK (1966) GREENBURG <i>et al.</i> (1938)	6 Monate 20 Monate bis 58 Monate	SKLENSKY (1964) BRANDT (1958) IRMSCHER (1958)
	10 – 25	27			
<i>Hüttenindustrie</i>					
Gichtstaub	12 – 16		DRASCHE (1962), DRASCHE <i>et al.</i> (1963)		
Sinteranlagen in Eisenhütten	Sidero- silikosen 10 – 29		DRASCHE (1959)		

Tab. 19: Entwicklungszeiten bis zum Auftreten
erster röntgenologischer Veränderungen
bzw. Krankheitssymptome in der Gießerei-
industrie

nach: REICHEL 1976

Die Silikosen der Steinmetze und Steinbruch- arbeiter	Durchschnittliche Expositionszeit (Jahre)		Literatur	Entwicklung von Rö.-Veränderungen nach kurzen Expositionszeiten (Jahre)	Literatur
	Rö.- Veränd.	Entschäd. oder klin. Sympt.			
Sandstein	10 25	32-39	AHLMANN (1968),	4	JINDRICHOVA
			AHLMARK <i>et al.</i> (1962),	5	(1963)
			BURRI (1951),		THIELE <i>et al.</i>
			EISLER <i>et al.</i> (1971),	5	(1927)
			KALSTLE (1928),	15	SEPKE <i>et al.</i>
Granit	16 32	30-40	LOCHTKEMPER <i>et al.</i>		(1965)
			(1932),		MAZZANTI <i>et al.</i>
			RABER (1968),		(1964)
			RÖHRL (1942),		
			SEPKE (1965),		
Gneis		25	THIELE <i>et al.</i> (1927)		
			AHLMANN (1968),	6 1/2	GRÜNDORFER
			BUCHER (1949),		<i>et al.</i> (1970)
			BIGGA <i>et al.</i> (1971),	7	AHLMANN (1968)
			GRÜNDORFER <i>et al.</i>	15	HALE <i>et al.</i>
Grauwackebrüche	18-32		(1970),		(1963)
			GUDJONSSON <i>et al.</i> (1936),		
			JINDRICHOVA <i>et al.</i> (1963),		
			RABER (1968),		
			MAIR (1951),		
Quarzit- steinbrüche	30		ROCHE <i>et al.</i> (1955),		
			RÖHRL (1942),		
			SEPKE (1965)		
Porphy	31,1		MEO <i>et al.</i> (1967)		
			LOCHTKEMPER <i>et al.</i>	8-11	LOCHTKEMPER
			(1932),	(Brecher)	<i>et al.</i> (1932)
			SEPKE (1965)		
Quarzschiefer	10-20		WÄTJEN (1942)	8-11	SEPKE (1965)
				(akute Verläufe)	
Schiefer		28 30	SEPKE (1965)	9 Monate	HORTSCH (1942)
				(Stollenbau)	GAUBATZ (1940)
				1-3 Jahre (Bohr- und Brecharbeiten)	
Bimssteinbrüche		29	CELEN (1951),	2	HOFFMANN (1941)
			GROETSCHEL <i>et al.</i>		
			(1932),		
			DE LA ROCHE <i>et al.</i>		
			(1964)		
Trass (amorphes SiO ₂)	fragliche Silikose 5-13		HANSTEIN (1942),	3-4	HANSTEIN (1942)
			SEPKE (1965),	(Bohrer)	
			HOFFMANN (1941)		
Bimssteinbrüche			NUNZIANTE <i>et al.</i> (1971),	8-10	NUNZIANTE (1965)
			GEVORKYAN (1969),		
			RIZZO (1967),		
			RIZZO (1968)		
Trass (amorphes SiO ₂)			HELLER (1963),		
			KLOSTERKÖTTER <i>et al.</i>		
			(1963)		

Tab. 20

Tab. 20: Entwicklungszeiten bis zum Auftreten
erster röntgenologischer Veränderungen
bzw. Krankheitssymptome bei den Silikosen
der Steinmetze und Steinbruchsarbeiter
nach: REICHEL 1976

Zusammenfassend fanden sich also eindeutig positive Korrelationen zwischen pathologischem und röntgenologischem Schweregrad der silikotischen und emphysematösen Veränderungen, und dem Quarzstaubgehalt der Lunge, sowie dem, anhand der Expositionszeit geschätzten Ausmaß der Quarzstaubexposition. Kurzzeitige, exzessive Expositionen quarzreicher Stäube scheinen zu einer raschen, maßvolle, kontinuierliche Expositionen relativ quarzarmer Stäube zu einer allmählichen Entwicklung silikotischer Veränderungen in der Lunge zu führen. Hinweise für eine Rechtsherzmehrbelastung fanden sich im Rahmen pathologischer Untersuchungen insbesondere bei den großschwierigen Silikosen.

VI. 2 b Beziehungen zwischen Exposition und kardiorespiratorischer Funktion

Da nur wenige hinreichend exakte Untersuchungen über das Verhältnis zwischen den einzelnen Röntgenkategorien und der durchschnittlichen Höhe der sie verursachenden Exposition bekannt sind, addiert sich die Ungenauigkeit der dargestellten Expositions-Wirkungsbeziehungen bei Untersuchungen kardiorespiratorischer Funktionseinschränkungen, die sich ja wiederum in der Regel auf die bestehende Röntgenkategorie als Maß für die stattgehabte Exposition beziehen.

Als Folge chronischer Staubbelastung findet sich auch bei Quarzstaub- und Quarzmischstaubexponierten eine Abnahme des FEV_1 -Wertes, sowie eine Minderung der Vitalkapazität und eine Zunahme des intrathorakalen Gasvolumens (IGV). Wobei z.B. die Erhöhung des IGV recht früh, bereits nach neun Jahren Expositionszeit an jungen Bergleuten beobachtet werden kann (ULMER et al. 1967) und dann allmählich mit der Expositionsdauer zunimmt (GAENSLER et al. 1972; MORGAN et al. 1972; REICHEL 1972 u. 1976; ULMER 1963, 1967, 1971; ULMER, REICHEL et al. 1967, 1968, 1971, 1972). So konnten z.B. WILES und FAURE 1977 über eine signifikante Korrelation zwischen der Staubgesamtexposition und des FEV_1 sowie des Mittleren Mittel-expiratorischen Flow (MMF) bei über 2000 südafrikanischen Goldminenarbeitern berichten.

Total dust (10 ³ RSA .years)	Number in group	Mean MMF (l./s)	Mean FEV ₁ (l.)
10	164	3.23	3.40
17	432	2.91	3.24
24	429	2.78	3.15
31	394	2.63	3.04
38	313	2.49	2.97
45	160	2.66	3.03
52	128	2.60	3.04
Total	2020		
Significance		$P < 0.01$	$P < 0.001$

Tab. 21: Korrelation von MMF und FEV₁ mit
der Staubexposition bei 2020 süd-
afrikanischen Goldminenarbeitern
nach: JILLIS und FIDELL 1977

Leider sind die in Tabelle 21 wiedergegebenen Werte nicht nach der ja auch altersabhängigen Obstruktionszunahme korrigiert. Eine ähnliche Korrelation fanden die Untersucher auch zwischen der mittleren Staubkonzentration, derer die Bergleute ausgesetzt waren und den Obstruktionsparametern, ohne Berücksichtigung der Expositionsdauer.

Mean dust level	No. in group	Mean MMF
700	364	3.07
900	347	2.93
1100	297	2.74
1300	219	2.59
1500	462	2.50
1700	139	2.64
1900	113	2.71
2100	79	2.66
Total	2020	
Significance		$P < 0.001$

Tab. 22: Korrelation von MMF und FEV_1 mit der mittleren Staubkonzentration am Arbeitsplatz

nach: WILES und FAURE 1977

Rauchgewohnheiten fanden die Untersucher deutlich die Obstruktion verschlechternd, wohingegen sich die Befundbesserung, die bei ehemaligen Rauchern auffiel, nach Beendigung der Staubexposition nicht nachweisen ließ. HUGHES et al. 1982 konnten die jährliche Abnahme der Lungenfunktion nicht signifikant mit den Rauchgewohnheiten, wohl aber mit den, durch ausgedehnte Messungen ermittelten mittleren Arbeitsplatzkonzentrationen an Quarzstaub bei insgesamt 83 Sandstrahlarbeitern mit Silikose korrelieren, die an einer bis zu sieben Jahre andauernden Langzeitstudie teilnahmen.

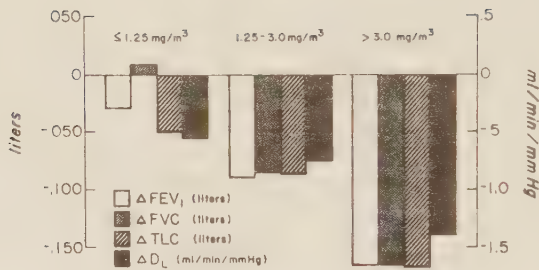


Abb. 52: Mittlere jährliche Änderung der Lungenfunktion in Abhängigkeit von der mittleren respirablen Quarzstaubkonzentration bei 83 Sandstrahlarbeitern mit Silikose nach: HUGHES et al. 1982

Wobei die Untersucher bei den Arbeitern, welche eine Progredienz des röntgenologischen Befundes zeigten, eine signifikant höhere Einschränkung der Lungenfunktion fanden. Am deutlichsten war die Korrelation bei den röntgenologisch zur grosschwieligen Form fortschreitenden Fällen.

Annual change in:	No progression by X-ray (n = 21)	Progression by X-ray (n = 38)
FEV ₁ (l.)	-0.055	-0.109*
FVC (l.)	-0.021	-0.116†
FEV/FVC	-0.960	-1.209
FEF ₂₅₋₇₅ (l. s ⁻¹)	-0.139	-0.127
RV (l.)	-0.046	-0.009
TLC (l.)	-0.063	-0.102
RV/TLC	-0.417	+0.610
D ₁₀ (ml min ⁻¹ mmHg ⁻¹)	-0.946	-0.755
D ₁ /AV	-0.106	-0.088

* Difference statistically significant (one-tailed p-value < 0.05).

† Difference statistically significant (one-tailed p-value < 0.01)

Tab. 23: Die mittlere jährliche Änderung der Lungenfunktion in Abhängigkeit von röntgenologisch beobachteter Progredienz bei 83 Sandstrahlarbeitern mit Silikose nach: HUGHES et al. 1982

Eine Verknüpfung von der Entwicklung einer großschwielligen Silikose und der Lungenfunktionseinschränkung bestätigen auch Musk et al. 1981 in einer neun Jahre dauernden Langzeitstudie an 125 Bergleuten mit Silikose. Insgesamt sind die von den einzelnen Untersuchern gefundenen Lungenfunktionseinschränkungen zwar signifikant im Vergleich zur nichtstaubexponierten übrigen Bevölkerung erhöht, die Untersucher berichten jedoch einheitlich über insgesamt nur diskrete bis vernachlässigbare (SOUTAR et al. 1983) Einschränkungen der Lungenfunktion bei unkomplizierten Silikosen.

So ermittelten HUGHES et al. 1982 eine mittlere jährliche Abnahme des FEV_1 von 29 ml bei Sandstrahlarbeitern, die einer Quarzstaubkonzentration von $\leq 1,25 \text{ mg/m}^3$ ausgesetzt waren, für Konzentrationen $\leq 3 \text{ mg/m}^3$ betrug die Abnahme 87 ml und bei Konzentrationen $> 3 \text{ mg/m}^3$ schließlich 166 ml. SOUTAR et al. 1983 fanden an über 4000 britischen Kohlenbergarbeitern eine durchschnittliche Reduktion des FEV_1 von 137 ml. ULMER und Mitarbeiter 1967 berichten über ein um 400-500 ml erhöhtes intrathorakales Gasvolumen bei Bergleuten mit und ohne Silikose, wobei eine eindeutige ursächliche Verknüpfung zwischen Anthrakovsilikose und der chronisch obstruktiven Bronchitis erst ab dem Silikosestadium B gefunden wurde. Daß die zu beobachtende Senkung des Sauerstoffpartialdruckes im arteriellen Blut bei Silikosen im Gegensatz zu der bei anderen fibrotischen Lungenveränderungen auftretenden Diffusionsstörung, in der Regel durch eine Inhomogenität des Ventilations-/Perfusionsquotienten verursacht, und somit auch obstruktionsbedingt ist (WORTH et al. 1961, ULMER und REICHEL 1964, ULMER et al. 1967, ULMER 1976), bestätigten Untersuchungen von SIEMON et al. 1983 an 102 männlichen Personen mit Staublungenveränderungen unterschiedlichen Schweregrades. Die mit zunehmendem Silikosegrad zu messende Einschränkung des Kohlenmonoxidtransfers korreliert eindeutig mit Quotienten aus dem mit der Heliummethode ermittelten Residualvolumen und dem bodyplethysmographisch gemessenen intrathorakalen Gasvolumen, als Parameter der Verteilungsstörung.

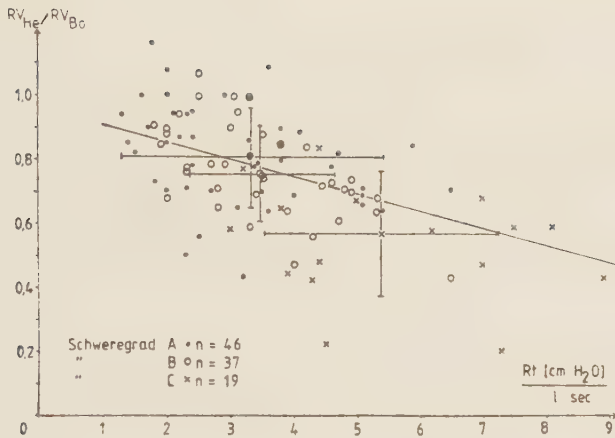


Abb. 53: Korrelation zwischen Verteilungsquotienten (RV_{He}/RV_{Bo}) als Maß für Verteilungsinhomogenitäten, und Atemwegswiderständen bei Silikosen unterschiedlicher Schweregrade (A: MdE unter 20 %, B: MdE 20-50 %, C: MdE über 50 %). Regressionsgerade, sowie Mittelwerte mit Standardabweichungen
nach: SIEMON et al. 1983

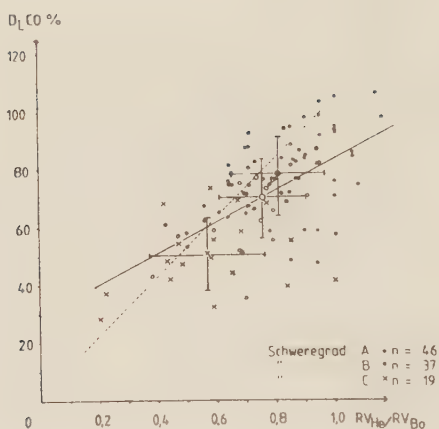


Abb. 54: Die Abhängigkeit der bei Silikosen unterschiedlichen Schweregrades zu messenden Einschränkung des Kohlenmonoxidtransfers von dem nach der Heliummethode bzw. bodyplethysmographisch ermittelten Verteilungsquotienten. Mittelwerte und Standardabweichungen, Regressionsgerade (durchgezogene Linie). Aus einem Kollektiv mit unterschiedlich schweren Verteilungsstörungen berechnete Vergleichsgerade nach: SIEMON et al. 1983

Als Folge des inhomogenen Befalls des Lungengewebes ist die Messung der statischen Compliance, die im Einzelfall als Frühsymptom einer beginnenden Lungenfunktionseinschränkung gewertet werden kann (WELLER u. ULMER 1972, REICHEL 1976), ein durch die kompensatorische Überdehnung gesunder Lungenareale doch unsicherer, und bei der Einschätzung der Lungenfunktionseinbußen von Silikotikern ein - im Gegensatz zu anderen fibrotischen Lungenumbauprozessen - Parameter von eher untergeordneter Bedeutung.

Man beachte in den Abbildungen 53 und 54, daß die Untersucher in der Gruppe A einen normalen, in der Gruppe B einen leicht, aber nicht signifikant erniedrigten, und erst in der Gruppe C einen eindeutig verminderten Verteilungskoeffizienten ermittelten. Dementsprechend fanden ULMER et al. 1967 anhand der im Rahmen einer epidemiologischen Studie an 2265 Bergleuten und Arbeitern der Stanlindustrie ermittelten arteriellen Sauerstoffpartialdrucke, bei Bergleuten ohne Silikose und solchen mit röntgenologischen Veränderungen der Kategorien $\leq A$, eine auch schon bei jüngeren Bergleuten zu beobachtende mittlere Erniedrigung des arteriellen pO_2 um etwa 4 mm Hg sowohl in Ruhe, als auch bei Belastung ($p < 0,05$). Somit konnte für Bergleute mit relativ kleinfleckigen Veränderungen ($A \leq n \leq p$) und Bergleuten ohne erkennbare röntgenologische Veränderungen, zwischen denen sich kein statistisch signifikanter Unterschied der arteriellen Sauerstoffdrucke ermitteln ließ, ein durchschnittlicher Sauerstoffpartialdruck gefunden werden, der dem einer in etwa 500 m über Meereshöhe lebenden nichtstaubexponierten Bevölkerung entspricht.

Eine organschädigende oder die Sauerstoffversorgung des Gewebes gefährdende Störung liegt demnach auch bei röntgenologischen Veränderungen bis einschließlich der Kategorie A in der Regel nicht vor. Lediglich bei den großschwierigen Silikosen der Klassifikation B und C fand sich ein verglichen mit Bergleuten ohne Silikose signifikant erniedrigter arterieller Sauerstoffpartialdruck. Diese Befunde, die mit den Korrelationen zwischen Röntgenkategorie und Atemwegswiderstand in Einklang stehen, wurden von vielen Untersuchern bestätigt (VALENTIN 1968, FOTES 1968, KREMER 1972, LAPP u. SEATON 1972, MORGAN et al. 1972, GAENSLEF et al. 1972, ULMER 1972, HANKINSON 1977, MUSK 1981, HUGHES 1982). Woraus jedoch nicht geschlossen werden darf, daß jede Silikose der Schweregrade B und C mit klinisch relevanten Lungenfunktionseinschränkungen verknüpft sein müsse. Auch bei den großschwierigen Silikosen kann die Leistungsfähigkeit bis ins hohe Alter unbeeinträchtigt bleiben (REICHEL 1976).

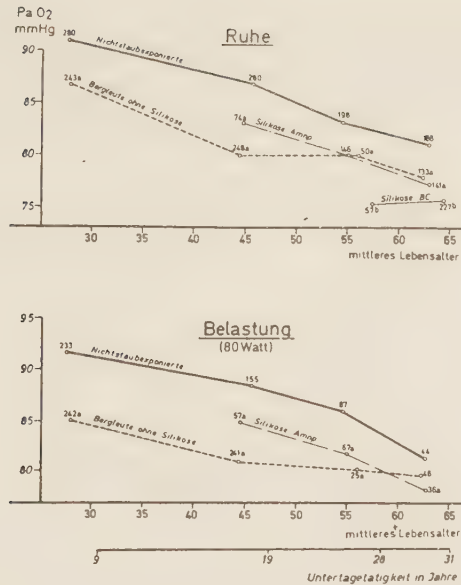


Abb. 55: Arterieller Sauerstoffdruck (PaO_2) in Abhängigkeit vom mittleren Lebensalter sowie der Dauer der Untertagetätigkeit bei nicht-grubenstaubexponierten Arbeitern, bei Bergarbeitern ohne und mit Pneumokoniosen. Die eingetragenen Zahlen geben die Anzahl der Untersuchungen wieder. Die mit a gekennzeichneten Werte sind von den nicht-grubenstaubexponierten signifikant verschieden. Die mit b gekennzeichneten Werte zeigen einen gesicherten Unterschied zu den Bergleuten ohne Silikose.

nach: ULMER et al. 1967

Entsprechend dem obstruktionsbedingten Abfall des arteriellen Sauerstoffpartialdruckes (Abb. 32) kann es bei Silikosen, die durch eine obstruktive Bronchitis kompliziert werden (Kategorie B u. C), zu einem Anstieg des pulmonalen Gefäßwiderstandes kommen, wie Abbildung 55 belegt.

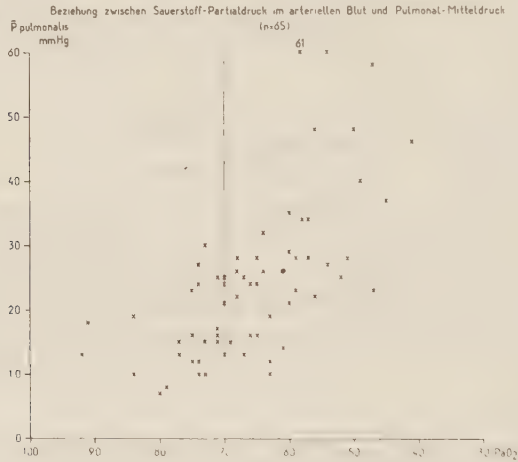


Abb. 56: Beziehung zwischen arteriellem Sauerstoffdruck und mittlerem Pulmonalarteriendruck bei 65 Bergarbeiter-Pneumokoniosen, die durch eine obstruktive Bronchitis kompliziert sind

nach: REICHEL 1976

Fehlt die obstruktive Ventilationsstörung, so fallen die selbst bei röntgenologisch fortgeschrittenen Fällen zu messenden Erhöhungen des pulmonalarteriellen Mitteldruckes eher diskret aus.

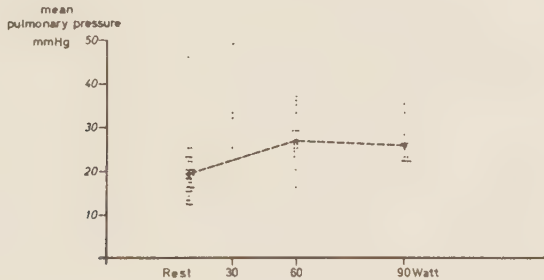


Abb. 57: Pulmonalarterienmitteldrucke bei verschiedenen Belastungen und in Ruhe, gemessen an 35 Bergleuten mit röntgenologisch schwergradiger Silikose, aber ohne obstruktive Ventilationsstörung

nach: ULMER und REICHEL 1972

Dementsprechend fand KRÄMER 1972 im Rahmen einer Untersuchung von 100 belgischen Kohlenbergarbeitern unabhängig vom röntgenologischen Stadium keine pulmonalarterielle Hypertension in den Fällen ohne Obstruktion und ohne Erniedrigung der Sauerstoffsättigung unter 94 %. Bei einer Verminderung der arteriellen Sauerstoffsättigung unter 94 % in Ruhe zeigte sich eine Korrektur unter Belastung in den Röntgenkategorien 1-3, erst wenn die Minderung in den

Fällen ab Kategorie B, welche durch eine obstruktive Bronchitis kompliziert waren, bei Belastung bestehen blieb (was unterhalb dieser Kategorie die Ausnahme war), so konnten hypertone pulmonalarterielle Drucke gemessen werden.



Abb. 58: Pulmonalarterienmitteldrucke in Ruhe und bei Belastungen zwischen 60 und 120 Watt in Abhängigkeit von der Röntgenkategorie an 52 Kohlenbergarbeitern mit Silikose, ohne obstruktive Ventilationsstörung
nach: KRÄMER 1972

Auch KRÊMER fand eine signifikante, aber geringgradige Zunahme des Pulmonalarterienmitteldruckes ab der Röntgenkategorie 2, ohne spirometrische Hinweise für eine begleitende Obstruktion.

Zusammengefaßt findet sich also bei Quarzstaub- und Quarzmischstaubexponierten eine von der Staubbelastung abhängige und von nicht staubexponierten Personen signifikant verschiedene Einschränkung der Lungenfunktion, welche in der Erhöhung des Atemwegswiderstandes mit all ihren Konsequenzen ihren meßbaren pathophysiologischen Ausdruck findet. Diese Einschränkungen, die lediglich als unspezifische Folge der Staubbelastung zu interpretieren sind, finden sich in der Regel bei kleinfleckigen Silikosen (A m n p) sowie bei Bergleuten ohne Silikose nur diskret ausgeprägt und ohne klinische Relevanz. Erst Staubbexpositionen, welche zur Entwicklung einer großschwielligen Silikose führen, können zu klinisch relevanten Lungenfunktionseinbußen führen, wenn der Prozeß durch eine obstruktive Bronchitis kompliziert wird.

VII. Beziehungen zwischen Exposition und Silikosehäufigkeit

Abhängig von der unterschiedlich hohen Staubbelastung werden von den einzelnen Industriezweigen, in denen es zur Entwicklung von Quarzstäuben und quarzhaltigen Mischstäuben kommt, verschieden hohe Silikoseprävalenzen und exposure-response Beziehungen berichtet. Nach UTIDIJAN 1976 fanden sich in der keramischen Industrie bei Staubkonzentrationen unter 8 mppcf innerhalb von zehn Jahren bei 0,3 %, nach mehr als vierzigjähriger Exposition, bei 85 % der Arbeiter röntgenologische Zeichen einer Silikose. Bis 1939 entwickelten sich bei 42 % der Arbeiter in der Bausteinindustrie (brick-industry), die Konzentrationen bis zu 9,9 mppcf ausgesetzt waren, und bei 22 % derer, die Konzentrationen zwischen 2 und 3,9 mppcf ausgesetzt waren, eine röntgenologisch faßbare Silikose. Bei einem Quarzgehalt von etwa 88 % entwickelte sich nach 17,9 Jahren durchschnittlicher Exposition eine Silikose der Röntgenkategorie 2, wohingegen gleiche Expositionsdaten (Konzentrationen zwischen 15,9 und 16,9 mppcf) in der gleichen Zeit bei Arbeitern, die etwa 80 % Cristobalit und Tridymit enthaltenden Stäuben ausgesetzt waren, bereits die Kategorie 3 erreicht war (FULTON et al., nach: UTIDIJAN 1976). Von der kalifornischen Diatomeenindustrie wurde bei einem Cristobalitgehalt von 32 % über eine Inzidenz von 9 % berichtet; 16 Jahre nachdem die Staubkonzentrationen unter 5 mppcf gesenkt wurden, konnte keine Silikose mehr beobachtet werden (nach UTIDIJAN 1976). In der Granitindustrie Vermonts wurden Daten seit 1924 erhoben. Dort zeigen etwa 50 % der Arbeiter

nach 46 Expositionsjahren röntgenologisch eine Silikose bei Staubkonzentrationen unter $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. RUSSEL (nach UTICIAN 1976), konnte 972 Granitsteinbrucharbeiter in vier Gruppen unterschiedlich hoher Exposition einteilen: in der Gruppe mit einer Belastung von 37-60 mppcf fand sich eine früh-silikose nach zwei Jahren bei 40 %, und nach vier Jahren bereits bei 100 % der Arbeiter; in der Gruppe zwischen 27 und 44 mppcf Staubkonzentration fanden sich nach vier Jahren Frühstadien und nach sieben Jahren fortgeschrittene Stadien; nur wenige Anzeichen für ernsthafte Veränderungen ergaben sich bei Expositionen bis zu 20 mppcf, unterhalb von 9 mppcf konnten keine röntgenologischen Veränderungen gefunden werden. Infolge erfolgreicher Staubbekämpfung liegt die Staubkonzentration in Vermont nur an wenigen Arbeitsplätzen über 5 mppcf, der Durchschnittswert beträgt 3 mppcf, bei einem Quarzgehalt der auftretenden Stäube zwischen 25 und 30 %. Unterhalb von 5 mppcf, was bei den in Vermont auftretenden Stäuben einer Massekonzentration von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entspricht, konnte kein Silikoserisiko nachgewiesen werden.

Unterschiedlich hohe Staubbelastungen und Silikoseprävalenzen infolge unterschiedlicher geologischer Bedingungen werden auch aus dem Kohlenbergbau berichtet. So weist ZAHORSKI 1972 auf die Abhängigkeit der Silikoseinzidenz in Polen von der Mächtigkeit und der Lage der Flöze hin. Zahlreiche Autoren berichten über eine Abhängigkeit der Silikosehäufigkeit vom Inkohlungsgrad der abgebauten Kohle. Tabelle 24 zeigt die in früherer amerikanischer Literatur beschriebene Beziehung zwischen Inkohlungsgrad und der Häufigkeit der Anthrakosilikose.

Bergbauggebiet	Zahl der unter-suchten Bergleute	Häufig-keit der Anthrako-silikose	In-kohlungs-grad
<i>Virginia</i>			
HYATT <i>et al.</i> (1964)	264	46%	hoher
<i>Pennsylvania</i>			
McBRIDE <i>et al.</i> (1966)	1300	30%	hoher
LIEBEN <i>et al.</i> (1961)	4182	30%	mittel bis hoher
<i>Virginia</i>			
ENTERLINE (1967)	185	19%	mittel bis hoher
<i>Pennsylvania</i>			
McBRIDE <i>et al.</i> (1963)	8237	11%	niedriger

Tab. 24: Häufigkeit der Anthrakosilikose der Kohlenbergarbeiter in verschiedenen amerikanischen Bergbaugebieten in Abhängigkeit vom Inkohlungsgrad der abgebauten Flöze

nach: FELICIEL 1976

DESSAUER *et al.* berichteten 1972 nicht nur über eine vom Inkohlungsgrad des abgebauten Flözes abhängende Häufigkeit, sondern auch über den durch ihn beeinflussten Schweregrad der sich entwickelnden Anthrakosilikosen bei Kohlenbergarbeitern der verschiedenen Abbaugebiete Pennsylvaniens.

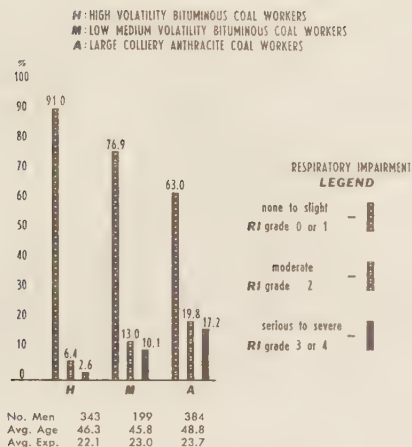


Abb. 59: Beziehung zwischen Häufigkeit und Schweregrad der Anthrakovilikose in Abhängigkeit vom Inkohlungsgrad der flöze der verschiedenen Abbauggebiete Pennsylvaniens

nach: DESSAUER et al. 1972

Auch MORGAN et al. 1972 und HURLEY 1982 berichteten über inkohlungsgradabhängige Silikoseprävalenzen. Eine eindeutige Beziehung zwischen Inkohlungsgrad und Prävalenz der röntgenologisch faßbaren Silikose konnten BENNETT und Mitarbeiter 1979 für über 60 000 britische Kohlenbergarbeiter nachweisen. Die Autoren führten als Hauptursache die vermehrte Staubeentwicklung in den Anthrazitzechen während früherer Jahre an, was ja auch mit den von NAEYE 1972 mitgeteilten Befunden über die Lungenstaubgehalte verstorbener Bergleute (siehe Kapitel VI) übereinstimmt.

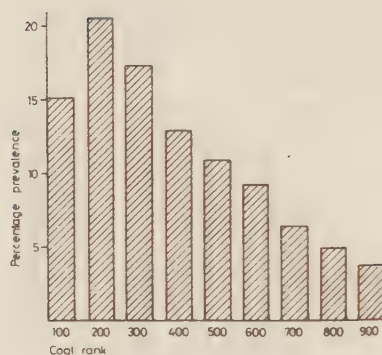


Abb. 6C: Silikoseprävalenz der Röntgenkategorie $\geq 1/0$ bei 62 362 britischen Vor-Grt-Ar-
beitern in Abhängigkeit vom Inkohlungs-
grad der abgebauten Flöze
nach: BENNETT et al. 1979

Den mit unterschiedlich hohem Alter der abgebauten Flöz-
horizonte sich ändernden Verwachsungsgrad der Quarzparti-
kel und somit die unterschiedlich ausgedehnte freie Quarz-
oberfläche vermutet REISNER 1983 als ursächlich für die
von ihm beobachteten unterschiedlichen Silikoserisiken auf
den einzelnen Zechen des westdeutschen Steinkohlenbergbaus,
trotz nachweislich gleicher Staubexpositionen. Die von
REISNER mittels einer Regressionsanalyse ermittelten Pneu-
mokonioserisiken stützen sich auf zum Teil seit 1954 lau-
fende, durch ständige Messungen überwachte monatliche Auf-
zeichnungen der Staubbelastung jedes einzelnen Bergmannes

bei mehr als 20 000 Bergleuten über einen Zeitraum von bis zu 20 Jahren. Das so ermittelte kumulative Staubangebot (Staubsummenwert:

$$\sum_{i=1}^n (c_i \cdot s_i),$$

c = die auf Messungen mit dem Probenahmegerät TBF₅₀ umgerechnete gravimetrische Feinstaubkonzentration, s = Anzahl der gefahrenen Schichten, n = Anzahl der Monate) werden zu den in ein- bis dreijährigen Abständen erhobenen röntgenologischen Befunden in Beziehung gesetzt. Die mittlere Verweildauer des Staubes wird über die monatliche Staubexposition geschätzt:

$$T_V = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i \cdot s_i \cdot (n - i))}{\sum_{i=1}^n (c_i \cdot s_i)} .$$

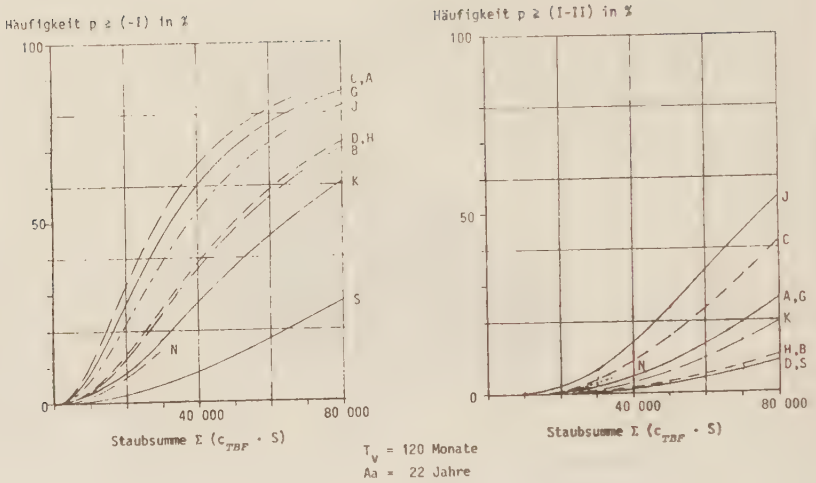


Abb. 61: Das Auftreten mindestens "eben leichter"
 (-I) = (1/1) und "leichter bis mittlerer"
 (I-II) = (2/2) Staublungenveränderungen in
 Abhängigkeit von der Staubexposition auf zehn
 Ruhrzechen bei einem Anlegealter von 22 Jahren
 und einer mittleren Verweildauer des Staubes
 in den Lungen von 120 Monaten
 (Ergebnis einer Regressionsanalyse)
 nach: REISNER 1983)

Auch das Anlegealter beeinflusst bis zum 30. Lebensjahr offensichtlich das Pneumokonioserisiko. Vermutlich reduziert der noch engere, als Vorabscheider besser wirksame jugendliche Bronchialbaum, sowie die in der Jugend regere bronchiale Reinigung die Menge des alveolär deponierten Staubes. Dieser gewonnene Vorteil wird allerdings durch die risikoerhöhende längere Verweildauer wieder aufgehoben.

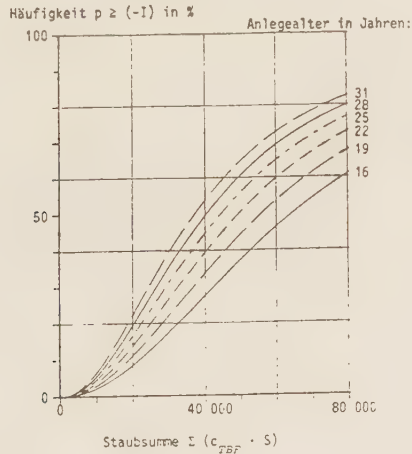


Abb. 62: Das Auftreten der einfachen Kohlenbergarbeiter-Pneumokoniose in Abhängigkeit von der Staubsumme und dem Anlegealter. Mittlere Verweildauer 120 Monate. Zeche H (Ergebnis einer Regressionsanalyse).

nach: REISNER 1983

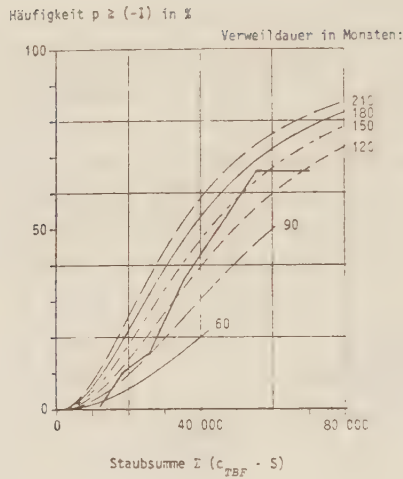
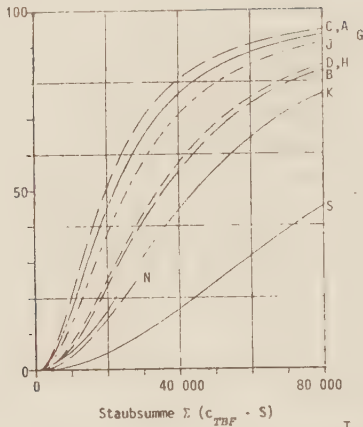


Abb. 63: Das Auftreten der einfachen Kohlenbergerbeiter-Pneumokoniose in Abhängigkeit von der Staubsumme und der mittleren Verweilzeit des Staubes in den Lungen bei einem Anlegealter von 22 Jahren. Zeche H (Ergebnis einer Regressionsanalyse. Knicklinienzug: Häufigkeit nur in Abhängigkeit von der Staubsumme).

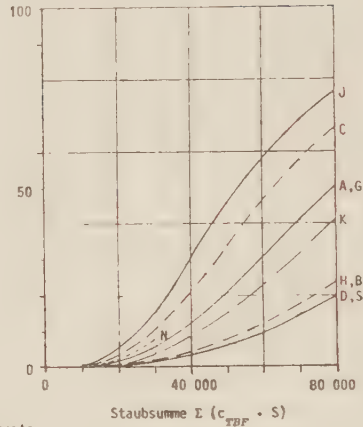
nach: REISNER 1983

Zwar ist eine Abschätzung des Pneumokonioserisikos selbst bei einem Beobachtungszeitraum von erst maximal 25 Jahren wegen den in den 50er Jahren aufgetretenen höheren Staubbelastungen, über eine mittlere Verweilzeit von 17,5 Jahren bei gleichmäßiger Staubbelastung ohne Extrapolation möglich, jedoch sollte der Schluß von einer diskontinuierlichen auf eine stetige, gleichmäßig hohe Exposition nur mit Vorbehalt durchgeführt werden. Allerdings betont REISNER, daß die wesentlichen das Pneumokonioserisiko beeinflussenden Faktoren die durchschnittliche Staubkonzentration sowie die Staubsumme sind; eine Erhöhung des Risikos durch zeitweilig bis über das Fünffache der durchschnittlichen monatlichen Belastung hinausgehende Staubexposition konnte auf den Zechen des westdeutschen Steinkohlenbergbaus nicht nachgewiesen werden, falls durch Zeiten entsprechend minderer Belastung die Staubsumme eingehalten werden konnte. Abbildung 64 zeigt als Ergebnis einer Regressionsanalyse das Risiko für das Auftreten von Anthrakosilikosen verschiedener Schweregrade in Abhängigkeit von der Staubsumme und der mittleren Verweilzeit (hier 210 Monate = 35 Jahren Exposition) auf zehn Zechen des Ruhrgebietes.

Häufigkeit $p \geq (-I)$ in %



Häufigkeit $p \geq (I-II)$ in %



$T_v = 210$ Monate

$A_a = 22$ Jahre

Abb. 64: Die Häufigkeit "eben leichter" und "leichter bis mittlerer" Staublungenveränderungen in Abhängigkeit von der Staubexposition auf zehn Ruhrzeichen bei einem Anlegealter von 22 Jahren und einer mittleren Verweildauer des Staubes in den Lungen von 210 Monaten nach: REISNER 1983

Demnach wäre ein absolutes Nullrisiko nicht abzuleiten. Bei den meisten Zechen sind also bei einer Staubkonzentration von 5 mg/m^3 vor Ort ($= 4 \text{ mg/m}^3$ auf eine 8-Stundenschicht bezogen) und einer Schichtenzahl von 7000 im Leben ($= 35$ Jahre zu 200 Schichten), Staublungenveränderungen bis zur Kategorie 2/3 nach ILO ("leichte bis mittlere") bei nicht mehr als 5 % der Bergleute zu erwarten. Leider liegen noch keine Daten über Entwicklungen während einer ganzen Lebensspanne vor, immerhin ist mit einem Fortschreiten der Anthrakosilikose, und möglicherweise mit der Entstehung rentenpflichtiger Schweregrade nach der Abkehr nach 35 Jahren zu rechnen.

Über ähnliche "exposure-response" Beziehungen, aber auch über ähnlich große Unterschiede im Pneumokonioserisiko auf den einzelnen Zechen berichteten HURLEY und Mitarbeiter 1982. Die auf den Röntgenbefunden von 2600 Bergleuten aus zehn britischen Zechen, sowie den Schätzungen der Exposition während einer 33jährigen Lebensarbeitszeit (aufgrund von Aufzeichnungen über 20 Jahre) basierenden Risikoberechnungen zeigen ein im Vergleich zu früheren - auf der Grundlage von Beobachtungen über zehn Jahre stehenden - Veröffentlichungen des National Coal Board geringfügig höheres Risiko im Bereich der unteren Staubkonzentrationen.

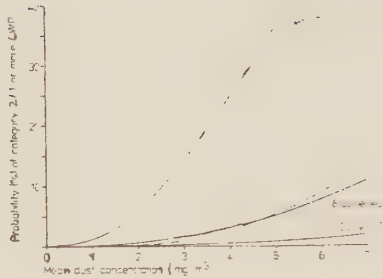


Abb. 65: Schätzung der Wahrscheinlichkeit, eine unkomplizierte Anthrakosilikose mindestens der Kategorie 2/1 nach ILO innerhalb etwa 35 Arbeitsjahren zu erwerben. Gestrichelte Linie: Ergebnisse früherer Berechnungen (JACOBSEN 1971)

nach: HURLEY et al. 1982

Die Ursachen der unterschiedlichen Risiken bleiben letztlich ungeklärt; der unterschiedliche Quarzanteil spielt dabei offensichtlich keine Rolle, so wurde auf der Zeche T mit 5 % Quarz der Durchschnittswert der acht mittleren Zechen angetroffen, während die Kohle der Zeche Q, derjenigen mit dem geringsten Risiko, einen Quarzanteil von 6,5 % aufwies.

Bei der in Abbildung 65 angegebenen mittleren Staubkonzentration wird davon ausgegangen, daß der Bergmann nicht

während der vollen Schicht der vor Ort herrschenden (in Großbritannien im Abwetterstrom gemessenen) Staubkonzentration ausgesetzt ist. Die vor Ort gemessene Konzentration wird deshalb durch den rechnerisch ermittelten Koeffizienten 1,4 geteilt, um die mittlere Exposition zu errechnen, bzw. es muß die in der Kurve angegebene mittlere Staubkonzentration mit dem Faktor 1,4 malgenommen werden, um das Risiko bei der vor Ort herrschenden Konzentration abschätzen zu können. Geht man zusätzlich realistischerweise davon aus, daß in den Zechen nicht überall die an den am stärksten staubbelasteten Arbeitsplätzen anzutreffenden Konzentrationen vorliegen, so kommt bei der Errechnung der Staubdurchschnittskonzentration ein weiterer Faktor 1,32 hinzu (JACOBSEN 1983). Wird weiterhin von einer in den letzten Jahren ja rückläufigen Jahres- und Lebensarbeitszeit, also von 30 Jahren à 1631 Stunden Untertagelebensarbeitszeit ausgegangen, so errechnet sich nach JACOBSEN 1983 für eine Staubkonzentration im Abwetterstrom von maximal 7 mg/m^3 , was einer mittleren Langzeitkonzentration (Anreisezeit eingeschlossen) von $3,8 \text{ mg/m}^3$ entspricht, das Risiko, eine einfache Kohlenbergarbeiterpneumokoniose der Röntgenkategorie 2 oder 3 zu erwerben, auf 1,5 %.

	(A) MEN WORKING CONTINUOUSLY AT COALFACES THAT JUST MEET THE STANDARD		(B) MEN WORKING CONTINUOUSLY IN OUTSTIPS WHOSE THE HIGHEST FACE JUST MEETS THE STANDARD	
	(i) 1970	(ii) 1977	(i) 1970	(ii) 1977
MAXIMUM ALLOWABLE CONCENTRATION IN THE RETURN AIRWAY DURING THE WORKING SHIFTS:	8 mg/m ³	7 mg/m ³	8 mg/m ³	7 mg/m ³
LONG-TERM AVERAGE CONCENTRATION LIKELY TO BE EXPERIENCED (INCLUDING TRAVELLING TIME):	8/1.4 = 5.7 mg/m ³	7/1.4 = 5 mg/m ³	8/(1.4 x 1.32) = 4.3 mg/m ³	7/(1.4 x 1.32) = 3.8 mg/m ³
ESTIMATES OF PROBABILITIES OF DEVELOPING CATEGORY 2 OR 3 SIMPLE PNEUMOCOPIOSIS	(a) over a 35-year working-life: 1969 study; refs. 2 and 4	7.7%	5.3%	3.6%
	(b) over 35 years x (1740 working hours per year): 1979 study; ref. 15	8.9%	6.3%	4.8%
	(c) over a miner's expected working life since about 1977 i.e. 30 years x (1631 working hours per year): 1979 study; ref. 15	3.8%	2.8%	2.0%

Tab. 25: Vergleich der Pneumokonioserisikoberechnungen zweier Studien (JACOBSEN 1971, HURLEY 1982) unter verschiedenen Annahmen zu Abbaubedingungen und den Verteilungen der Staubkonzentrationen in britischen Kohlengruben
nach: JACOBSEN 1983

VEKENY 1983 gibt das Risiko, im ungarischen Kohlenbergbau in Mecsek nach 6500 Schichten bei einer Staubkonzentration von 4 mg/m³ vor Ort, eine rentenpflichtige Silikose zu erlangen mit 30 % an. Ähnliche Risiken wie für den westdeutschen und britischen Kohlenbergbau ermittelten GONZALEZ und Mitarbeiter 1982 bei 3000 spanischen Bergleuten.

Hier wird leider immer noch die Staubkonzentration nach der Teilchenzahl gemessen.

MC DONALD und OAKES 1983 berichteten über die Mortalitätsziffern und das Pneumokonioserisiko bei 1321 Goldminenarbeitern aus Süddakota (SiO_2 -Gehalt im Staub: 39 %) sowie 241 Arbeitern aus dem Gips-Bergbau. Aus Aktendokumenten gewonnene Expositionsdaten wurden von den Untersuchern mit den Mortalitätsziffern, sowie mit der Häufigkeit der zu beobachtenden Silikosen der Kategorien $\geq 1/C$ korreliert. Die gefundenen linearen exposure-response Beziehungen schätzen das Risiko, Silikosen der Kategorie $\geq 1/C$ zu erwerben bei den im Gipsabbau tätigen Arbeitern auf etwa 50 %, nimmt man den in den USA gültigen TLV von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an; außerdem läßt sich für die Goldmineure bei dem derzeit gültigen TLV eine höhere Mortalität im Vergleich zur übrigen Bevölkerung ermitteln. Unterhalb der Konzentration von $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ scheint keine röntgenologisch faßbare Silikose zu erwarten zu sein, was in etwa mit den Beobachtungen aus dem Vermonter Granitabbau übereinstimmt. Leider fehlt in der Studie über den Gipsbergbau die Höhe des Quarzgehaltes der auftretenden Stäube. Für die Ableitung allgemeingültiger exposure-response Beziehungen scheint doch die Anzahl der untersuchten Arbeiter recht gering, immerhin arbeiteten lediglich 64 der 221 untersuchten Arbeiter länger als 20 Jahre in den Betrieben; die Höhe der Expositionen scheint außerdem leider nicht sehr verläßlich kontrolliert, so daß auch diese Daten nur mit Vorbehalt zu verwerten sein dürften.

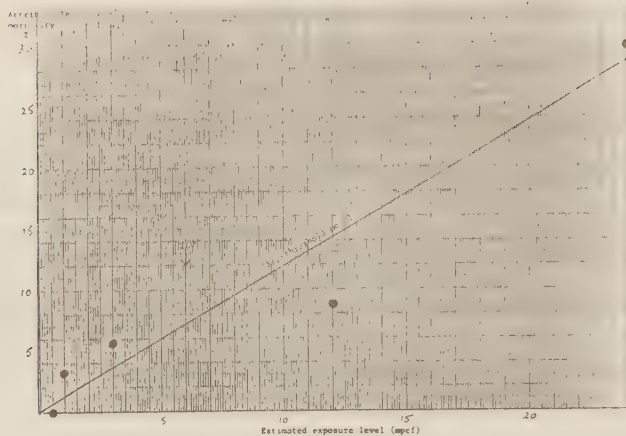


Abb. 66: Mortalitätszunahme infolge Silikose
bei Cummingtonit-Grünerit-Bergleuten,
die mehr als 21 Jahre exponiert waren
nach: MC DONALD und OAKES 1983

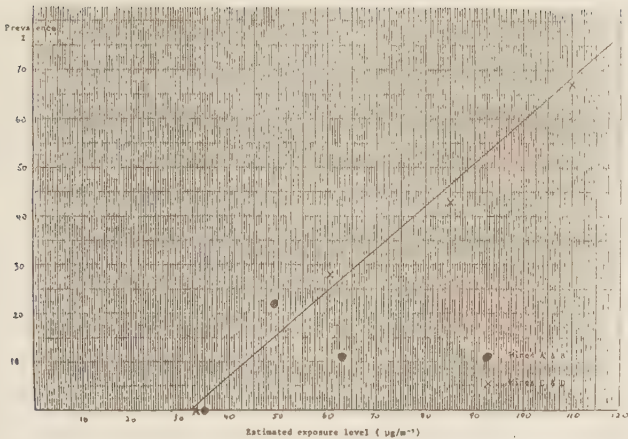


Abb. 67: Silikoseprävalenz der Kategorie $\geq 1/0$
bei Arbeitern aus dem Gipsbergbau, die
mehr als 20 Jahre beschäftigt waren, in
Abhängigkeit von der Staubkonzentration
nach: MC DONALD und OAKES 1983

Zwar kann die Silikose in jedem Stadium ihrer Entwicklung zum Stillstand kommen, es sind jedoch insbesondere nach kurzzeitigen, aber exzessiven Expositionen Progredienzen nach einer Latenzzeit bis zu 30 Jahren beschrieben worden (REICHEL 1976). HUGHES et al. 1982 beobachteten in ihrer Langzeitstudie eine expositionsabhängige Progredienz der Röntgenbefunde bei 63 von 83 Sandstrahlarbeitern. Innerhalb von sieben Jahren konnten bei Staubkonzentrationen $\leq 1,25 \text{ mg/m}^3$ in 50 %, bei Konzentrationen $\leq 3 \text{ mg/m}^3$ in

59 % und bei $> 3 \text{ mg/m}^3$ in 100 % der Fälle eine Progredienz beobachtet werden.

LANGE, WORTH et al. 1980 fanden in 53,7 % der von ihnen ausgewerteten 1561 Lungenfilme von insgesamt 318 Kohlenbergarbeitern mit Pneumokoniosen den Typ q der kleinen Verschattungen vorherrschend. Ein Wechsel des prädominanten Typs konnte innerhalb von zehn Jahren nur in 7 % der Fälle beobachtet werden, wohingegen es in 48 % der Fälle zur Entwicklung einer großschwieligen Silikose kam.

SHENNAN und Mitarbeiter untersuchten 1981 an mehr als 200 000 Kohlenbergarbeitern des National Coal Boards die Häufigkeit der Entwicklung einer progressiven massiven Fibrose in Abhängigkeit von dem vorbestehenden Grad der röntgenologischen Ausprägung, dem Alter der Bergleute und der laufenden Staubexposition. Es zeigte sich eine eindeutige Abhängigkeit der Entwicklung einer PMF vom Grad der simple Coalworkers' Pneumoconiosis (SPN); für die gefundene Altersabhängigkeit wird eine schwächere Ausprägung der einzelnen Kategorien bei den jüngeren Bergleuten vermutet. In dem Beobachtungszeitraum von fünf Jahren konnten keine Unterschiede hinsichtlich der Progredienz der Röntgenkategorie zwischen weiter staubexponierten und bereits abgekehrten Bergleuten gefunden werden. Dies steht im Einklang mit den von REISNER 1983 berichteten Beobachtungen. Als Ursache werden individuelle Faktoren diskutiert (der robustere Bergmann arbeitet länger unter Tage). Möglicherweise ist aber die innerhalb der fünf Jahre aufgenommene Staubmenge im Vergleich zur Vorbelastung zu ge-

ring und der Beobachtungszeitraum zu kurz, als daß sich die Folgen röntgenologisch nachweisen lassen könnten; in jedem Fall wird die über lange Zeit fortbestehende Toxizität der bereits deponierten Stäube deutlich.

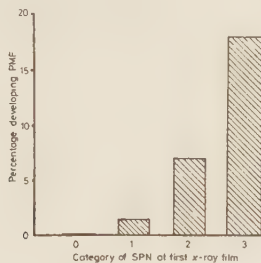


Abb. 68: Die Häufigkeit der Entwicklung einer großschwielligen Silikose ($\geq$ Kategorie 2 A nach ILO) innerhalb von fünf Jahren in Abhängigkeit von der vorbestehenden Röntgenkategorie bei Kohlenbergarbeitern im Alter zwischen 35 und 54 Jahren
nach: SHENNAN et al. 1981

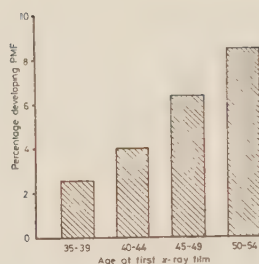


Abb. 69: Die Häufigkeit der Entwicklung einer PMF innerhalb von fünf Jahren in Abhängigkeit vom Alter der Bergleute
nach: SHENNAN et al. 1981

Zwar ist das Risiko der Entwicklung einer großschwielligen Silikose bei niedrigen Röntgenkategorien prozentual gesehen geringer, jedoch weisen SHENNAN und Mitarbeiter darauf hin, daß infolge der hohen Prävalenz z.B. der Kategorien 0 und 1, die Zahl der aus ihnen hervorgehenden Fälle großschwielliger Silikosen absolut gesehen etwa die Hälfte aller Fälle ausmacht.

Entsprechend den im vorigen Kapitel beschriebenen Ergebnissen finden sich funktionelle Hinweise für eine die Silikose komplizierende obstruktive Bronchitis in den Fällen großschwieliger Silikose (Kategorien B und C) etwa doppelt so häufig wie bei der nicht staubexponierten Bevölkerung. Silikosen der Kategorien A, m, n oder p weisen keine statistisch signifikant häufigere Verknüpfung mit erhöhten Atemwegswiderständen als die nicht staubexponierte übrige Bevölkerung auf. Dies geht aus umfangreichen epidemiologischen Untersuchungen von ULMER und Mitarbeitern 1967 hervor.

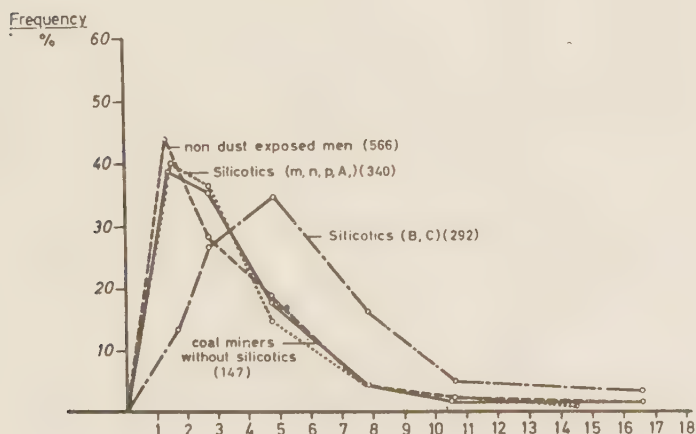


Abb. 70: Häufigkeitsverteilung der einzelnen Bronchialwiderstände in den Kollektiven von Nichtbergleuten, Bergleuten und Bergleuten mit Silikose. Für die Silikose mit größeren Schwielen (B und C) ergibt sich gegenüber den anderen Gruppen im Wilcoxon-Rangtest eine statistisch signifikante Differenz nach: ULMER und REICHEL 1972

Auch wenn unterschiedliche Altersgruppen beobachtet werden, ergibt sich eine signifikant höhere Inzidenz der Atemwegs-
cm H_2O . sec
obstruktion ($R_t > 3,5 \frac{\text{liter}}{\text{cm } H_2O \cdot \text{sec}}$) bei grobschwieliger
Silikose (Kategorie B und C) im Vergleich mit Bergleuten
ohne Silikose, Bergleuten mit Silikosen der Stadien A, m,
n oder p, sowie mit nicht staubexponierten Kontrollen, wie
Abbildung 71 veranschaulicht.

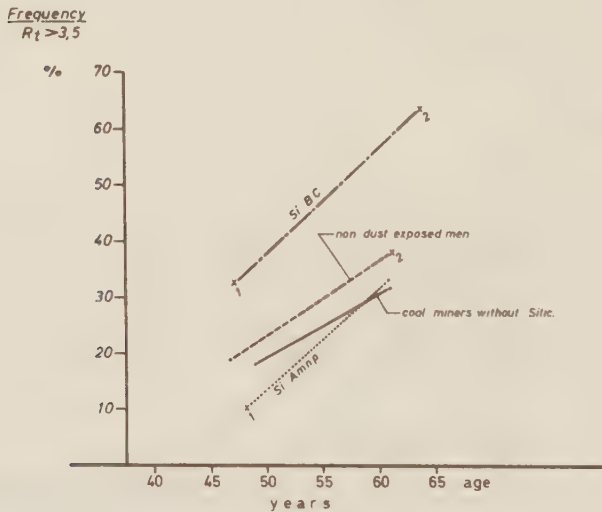


Abb. 71: Häufigkeit erhöhter Atemwegswiderstände
cm H_2O . sec

($R_t > 3,5 \frac{\text{liter}}{\text{cm } H_2O \cdot \text{sec}}$) bei nicht staub-
exponierten Personen, Kohlenbergarbeitern
ohne Silikose, Kohlenbergarbeitern mit Si-
likosen der Kategorien A, m, n oder p bzw.
der Kategorien B und C

nach: ULMER und REICHEL 1972

Auch hier finden sich keine signifikanten Unterschiede in der Inzidenz obstruktiver Komplikationen zwischen Bergarbeitern mit relativ kleinfleckigen silikotischen Veränderungen (Kategorie A, m, n oder p) und Bergleuten ohne Silikose, bzw. der nicht staubexponierten Bevölkerung. Im Alter von 60 Jahren muß also in etwa 60 % der Fälle bei Silikosen der Stadien B und C mit einer obstruktiven Bronchitis gerechnet werden.

6,5 % der Bergleute ohne und mit nicht durch eine obstruktive Bronchitis komplizierter leichter bis mittelgradiger Silikose zeigen arterielle Sauerstoffdrucke unter 70 mm Hg, gegenüber nur 0,3 % der nicht staubexponierten Bevölkerung. Zwischen 70 und 80 mm Hg liegt der prozentuale Anteil bei den Bergleuten doppelt so hoch wie im Vergleichskollektiv; bei Sauerstoffdrucken über 90 mm Hg verschiebt sich der Prozentsatz immer mehr zugunsten der Vergleichspersonen. Diese Unterschiede sind auch bei Belastung zu beobachten, wie aus Abbildung 72 hervorgeht.

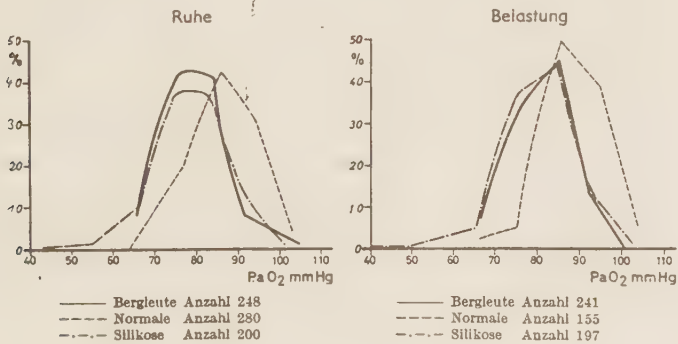


Abb. 72

Abb. 72: Prozentuale Verteilung der Höhe des arteriellen Sauerstoffdruckes bei Bergleuten ohne Silikose (—), bei Bergleuten mit Silikose (-.-.-) und bei nicht staubexponierten im Alter vergleichbaren Männern

nach: ULMER et al. 1967

Dementsprechend fanden COCHRANE et al. 1973 in einer Studie über 20 Jahre an über 1600 Bergleuten des Rondda-Fach, nur die Röntgenkategorien B und C mit einer erhöhten Mortalität verbunden.

Die Anatomie der Atemwege, der Atemtypus, Lungenreinigungsmechanismen, Rauchgewohnheiten, die Ausprägung eines Emphysems, die Resistenzlage gegenüber Infektionen sowie eine erbliche Disposition werden als ursächlich für die zu beobachtenden individuellen Unterschiede in der Entwicklung und Ausprägung einer Silikose angesehen. BAILEY et al. 1982 berichteten über erhebliche individuelle Unterschiede bei der tracheobronchialen Clearance radioaktiv markierter Aluminiumsilikate. WELLER 1977 konnte im Langzeitinhalationstest an Rhesusaffen bei vergleichbaren Gesamtstaubmengen in den Lungen Unterschiede in der quarzspezifischen Wirkung bis zu 300 % (48 % bei Paarhaltung)

beobachten. Die Gesamtstaubmengen bei vergleichbaren Lungengewichten variierten nun bis zu 30 % (10 % bei Paarhaltung). MANCJLOVIC und SEEMAYER berichteten 1981, daß Makrophagen von Bergleuten mit Silikose zu 30 % *in vitro* nicht mit einer Hemmung der DNA-Syntheserate auch bei höheren Quarzkonzentrationen reagieren. RASCHE et al. 1982 untersuchten eine Kontrastgruppe von mehr als 200 Bergleuten. Die erste "resistente" Hälfte der Gruppe war ausgewählt, weil sich bei diesen Bergleuten trotz nachweislich hoher Staubexposition keine Silikose entwickelt hatte, die zweite, weil diese Kohlenbergarbeiter bei relativ geringen Expositionen eine radiologisch nachweisbare Anthrakovsilikose entwickelt hatten. In der Gruppe "resistenter" Bergleute fanden sich signifikant häufiger klinische, laborchemische und lungenfunktionsanalytische Hinweise für eine chronische Bronchitis, so daß die Untersucher annehmen, die gesteigerte Clearance sowie eine gewisse körperliche Schonung führe bei Bergleuten mit chronischer Bronchitis zu einer geringeren Entwicklung von Silikosen. Demgegenüber berichteten JACOBSEN und MACLAREN 1982 über 45 Bergleute, die von 4330 ausgewählt wurden, weil sie eine ungewöhnlich frühzeitige Pneumokonioseentwicklung zeigten; diese Bergleute hatten innerhalb von zehn Jahren durchschnittlich 926 Stunden länger gearbeitet und waren höheren Quarzkonzentrationen ausgesetzt als die Kontrollen; sie entwickelten mit 5 % statistisch signifikant häufiger großschwielige Veränderungen (PMF). A. O. Enzawa 1982 fand bei 203 Metallminen und -mühlenarbeitern, die eine Silikose

entwickelt hatten, deutlich höhere Staubexpositionszeiten an anderen Arbeitsplätzen als bei ihren ~~ges~~und gebliebenen Kollegen. Auch BONNEVIE 1977 konnte bei fast allen von ihm untersuchten Gießereiarbeitern, die eine Silikose entwickelt hatten, eine längere oder höhere Quarzstaubbelastung eruieren als bei den Arbeitern, die keine Silikose entwickelt hatten. Nur in Einzelfällen zeigten sich bei vergleichbaren Expositionen unterschiedliche Reaktionen.

REISNER gibt allerdings 1983 zu bedenken, daß der deutliche Zusammenhang zwischen dem Fortschreiten der Pneumokoniose und der weiteren Staubbelastung mit höherem Schweregrad und auch der Dauer der Staubvorbelastung abnimmt. So konnten beim Fortschreiten "leichter bis mittlerer" Staublungenveränderungen eine Abhängigkeit weder von der Vorbelastung noch von der weiteren Staubexposition gefunden werden. Vermutlich gewinnen bei der Entwicklung höherer Schweregrade immer mehr von der Staubexposition unabhängige Individualfaktoren an Einfluß, wobei Bergleute, die erst spät Silikosen entwickeln, eine Selektion nur schwach dosisabhängig reagierender "resistenter" Individuen darstellen (REISNER 1983).

Zusammenfassend konnten also eindeutige Korrelationen zwischen Quarzstaub- und Quarzmischstaubexposition und dem Silikoserisiko beschrieben werden. Während Untersuchungen über quarzreichere Stäube Hinweise dafür ~~gab~~en, daß bei Staubkonzentrationen unterhalb von etwa $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kein Risi-

ko für die Entwicklung einer röntgenologisch faßbaren Silikose besteht, konnte bei quarzhaltigen Kohlenstäuben eine solche Untergrenze nicht gefunden werden. Im Kohlenbergbau ist auch bisher noch kein Zusammenhang zwischen dem unterschiedlichen Quarzgehalt und dem auf den einzelnen Zechen variierenden Risiko nachgewiesen worden. Im westdeutschen Steinkohlenbergbau berechnet sich das Risiko, während 35 Jahren Lebensarbeitszeit bei einer Staubkonzentration vor Ort von 5 mg/m^3 Staublungenveränderungen bis zur Kategorie 2/3 zu erwerben, auf etwa 5 %. Im britischen Kohlenbergbau, wo von einer Lebensarbeitszeit von 30 Jahren und einer geringeren Jahresschichtenzahl ausgegangen wird, findet sich bei Konzentrationen bis zu 7 mg/m^3 im Abwetterstrom ein Risiko von 1,5 % für die gleiche Röntgenkategorie. Großschwielige Silikosen bergen ein höheres Risiko an Lungenfunktionseinbußen. So finden sich bei etwa 60 % der 60jährigen mit Silikosen der Stadien B oder C erhöhte Atemwegswiderstände als Ausdruck einer komplizierenden obstruktiven Bronchitis. Die Mortalität ist bei diesem Schweregrad im Vergleich ~~zu~~ zur Normalbevölkerung und Bergleuten mit kleinfleckigen Veränderungen erhöht. Das Ausmaß individueller Faktoren bei der Entwicklung von Silikosen bleibt umstritten.

VIII. Empfehlungen

Betrachtet man SiO_2 -Modifikationen enthaltende Stäube nach ihren Eigenschaften als Depotgifte und sieht die sich entwickelnden Pneumokoniosen als Problem der Staubbilanzierung an (KLOSTERKÖTTER 1972), dann böte den idealen Schutz vor der Entwicklung einer Silikose nach den vorliegenden Erkenntnissen natürlich die Unterschreitung einer für den jeweils auftretenden Staub ermittelten und der individuellen tracheobronchialen Clearancekapazitat des einzelnen Arbeiters angepauften maximalen, im Laufe des Lebens nicht zur Silikose führenden Tagesstaubmenge. Dies ermöglichte eine den in den Betrieben auftretenden Staubverhaltnissen angepauhte prospektive Arbeitseinsatzlenkung und forderte nicht die Senkung der Staubkonzentrationen auch an den Arbeitsplätzen, wo dies technisch nur mit ungeheurem Aufwand möglich ist. Doch erweist sich die - in Ermangelung geeigneter Methoden zur prospektiven Abschätzung der individuellen "Silikoseempfanglichkeit" - praktizierte Arbeitseinsatzlenkung, die sich an den regelmäßig erhobenen Röntgenbefunden orientiert, als durchaus vertretbar, bedenkt man die von REISNER über den westdeutschen Steinkohlenbergbau mitgeteilten Beobachtungen, daß vorübergehende Staubbelastungen bis zum Fünffachen der monatlichen Durchschnittsexposition, bei Einhaltung der maximalen Gesamtstaubsumme durch entsprechende Zeiten mit geringerer Exposition, ohne röntgenologisch faßbare Folgen blieben. Die Möglichkeit der Kompensation von Spitzenbe-

lastungen muß jedoch als begrenzt angesehen werden, wie aus den Berichten über die Entwicklung schwerster Silikosen infolge kurzzeitiger, aber exzessiver Quarzstaubexpositionen auch nach Jahrzehnten Latenzzeit deutlich wird. Deshalb ist neben der Angabe von einer maximal im Leben tolerierbaren Staubsumme, die Ermittlung einer nicht zu überschreitenden Grenzkonzentration erforderlich. Die Fülle der insbesondere im Kohlenbergbau gesammelten Daten darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß sich die Berechnungen des Langzeitriskos immer noch auf dem Niveau von Schätzungen bzw. Hochrechnungen bewegen, da keine Daten über ausreichend lange Beobachtungszeiträume zur Verfügung stehen; ein großer Teil der verwendeten Expositionsdaten beruht noch auf nach der particle-count Methode gemessenen Konzentrationen, die entsprechend in gravimetrische Werte umgerechnet werden müssen. Die Erfahrungen mit gravimetrischen Staubkonzentrationen außerhalb des Kohlenbergbaus sind offensichtlich recht dürftig; häufig sind hier die beobachteten Kollektive auch zu klein und die Beobachtungszeiträume zu kurz, um allgemeingültige Aussagen über das Pneumokonioserisiko treffen zu können. Trotzdem müssen die uns heute vorliegenden Daten bei der Bemessung der zumutbaren Staubbelastungen als Orientierungshilfe dienen, bis - etwa durch Messung der tatsächlich alveolargeponierbaren Fraktionen, oder der spezifischen Silikogenität der einzelnen Stäube in vivo - Erkenntnisse zur Verfügung stehen, die die ablaufenden Vorgänge treffender und umfassender als bisher beschreiben.

Geht man davon aus, daß den entscheidenden zur Silikose führenden Faktor die im Leben aufgenommene Menge an quarzhaltigen Stäuben ausmacht, so bieten sich zur Regulierung des Risikos die zwei in diesen Faktor eingehenden Variablen, Zeit und Staubkonzentration an. Über den Erfolg der in den letzten Jahren stattgehabten Reduzierung der Lebensarbeitszeit berichtete JACOBSEN 1983 (siehe Tabelle 25). So wird z.B. in Spanien bei Arbeitsplätzen mit hohem Staubaufkommen entsprechend der Staubkonzentration die Jahres-schichtenzahl begrenzt. Die Bemessung der zweiten Variablen, der mittleren Staubkonzentration, derer ein Arbeiter im Durchschnitt ausgesetzt ist, sollte mindestens so abgewogen werden, daß im Laufe des Arbeitslebens die Entwicklung einer Silikose der Kategorien B und C (die ja gehäuft mit kardiorespiratorischen Funktionseinbußen einhergehen) und die Streuung der Kategorie 3, aus der sich großschwierige Formen bevorzugt entwickeln, vermieden werden; die Neigung zur Progredienz auch nach Beendigung der Staubbelastung sollte allerdings nicht unberücksichtigt bleiben. Dabei scheint es sinnvoll, zeitbezogene, mittlere Staubkonzentrationen (time-weighted average) z.B. für eine 8-Stunden-Schicht und eine 40-Stunden-Woche zu verwenden, da diese den realen Arbeitsbedingungen am nächsten kommen. Die Staubbelastung sollte möglichst im Bereich der Atemzone des einzelnen Bergmannes, möglichst für jeden Arbeitsplatz individuell bestimmt und kontrolliert werden. Meutechnisch sollte die nach dem derzeitigen Erkenntnis-

stand alveolardeponierbare Staubfraktion gewonnen werden. Grenzkonzentrationen sollten sich möglichst nicht allein am Gehalt freier Kieselsäuremodifikationen orientieren (wie das z.B. im TLV der USA der Fall ist), sondern den die Silikogenität des Quarzes modifizierenden Einfluß der Begleitstäube mitberücksichtigen. Da die Modifikationen Cristobalit und Tridymit als doppelt toxisch angesehen werden müssen (UTIFFIAN 1975), sollten empfohlene Grenzkonzentrationen für diese Stäube entsprechend geringer ausfallen.

In der Bundesrepublik Deutschland wird eine maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) von $0,15 \text{ mg/m}^3$ für Quarzfeinstaub (gemessen an der alveolargängigen, der Johannesburger Trennkurve entsprechenden Staubfraktion) sowie für Cristobalit- und Tridymitfeinstäube vorgeschrieben. Entsprechend den Besonderheiten im Kohlenbergbau gilt hier bei Quarzgehalten bis zu 5 % der Grenzwert von $4,0 \text{ mg/m}^3$ für quarzhaltigen Feinstaub, was einer maximalen Quarzstaubkonzentration von $0,2 \text{ mg/m}^3$ entspricht. In den USA wird unter der Annahme, daß eine Staubgrenzkonzentration der Toxizität des Staubes umgekehrt proportional sein müsse, eine Formel angegeben, in die der Quarzgehalt der Stäube in reziproker Form eingeht:

10

$$\text{TLV} = \frac{10}{\% \text{ respirable free silica} + 2} \cdot$$

Das entspräche für reinen Quarzstaub einem Wert von $0,1 \text{ mg/m}^3$, für einen etwa 20 % enthaltenden Staub aber immernin $0,5 \text{ mg/m}^3$. Der Summand 2 wurde in den Nenner einbezogen, um den Grenzwert bei Quarzgehalten $< 1 \%$ nicht ins Unendliche steigen zu lassen. Für Kohlenstäube bis 5 % Quarzgehalt gilt der TLV von 2 mg/m^3 . Dabei muß darauf hingewiesen werden, daß eine solche Formel eine rein theoretische Berechnung darstellt, die einen mit dem Quarzgehalt linearen Anstieg der Toxizität annimmt, dabei jedoch nichts über die tatsächliche Toxizität eines Staubes aussagt; scheint doch die einfache prozentuale, gravimetrische Angabe des Quarzgehaltes kein die jeweilige Toxizität des Staubes exakt definierender Parameter zu sein. Für Cristobalit und Tridymit wird die Hälfte der für freie Kieselsäure geltenden Grenzwerte vorgeschrieben. Der TLV versteht sich ebenso wie der westdeutsche MAK-Wert als Durchschnittswert (time-weighted average) für einen 8-Stunden-Tag (beim MAK-Wert: zusätzlich für eine 40-Stunden-Woche). UTIDIJAN 1975 berichtete über die Grenzwerte in Schweden, daß diese sich ebenfalls am prozentualen Quarzanteil orientierten. Bei weniger als 2,5 % Quarz sei ein Grenzwert von 15 mg/m^3 für den Gesamtstaub angegeben, der sich bei höheren Quarzgehalten entsprechend erniedrige. Die Orientierung von Grenzwerten an der alveolardeponierbaren Feinstaubfraktion sollte heutzutage jedoch eine Standardanforderung sein. In Frankreich wird seit 1956 ein Staubindex für jeden Arbeitsplatz gefordert, der sich aus der Anzahl der Staubpartikel $< 5 \mu\text{m/m}^3$, dem röntgendiffraktometrisch ermittel-

ten Gewichtsanteil an freier Kieselsäure der Teilchen unterhalb von $5\mu\text{m}$ und einer von den jeweiligen Meßmethoden abhängenden Konstanten errechnet. Dabei werden Konzentrationen bis zu einem Index von 5 als zufriedenstellend, zwischen 5 und 6 als zweifelhaft und über 6 als gefährlich angesehen (UTIDIJAN 1975). Diese etwas umständliche Methode wird wohl erfolgreich praktiziert, orientiert sich allerdings nicht an der alveolargängigen Staubfraktion. Die recht differenzierten, gravimetrisch sich an der Feinstaubfraktion $< 5\mu\text{m}$ orientierenden in der UdSSR gültigen Grenzwerte für quarzhaltige Stäube sind in Tabelle 26 wiedergegeben. Die Werte scheinen insgesamt sehr hoch, so liegt z.B. die Grenzkonzentration für reinen Quarzstaub um eine Zehnerpotenz höher als in den USA.

Mineral and Organic Dust	Maximum Permissible Concentration mg/cu m
Over 70% crystalline silica	1
10-70% free silica	2
Silicate dust with 10% free silica	4
Other mineral dust with 10% free silica	5
Minerals and mixtures with no silica	6
Coals with more than 10% free silica	7
Coals with less than 10% free silica	4
Coals with no silica	10

Tab. 26: Liste der in der UdSSR gültigen Grenzwerte für quarzhaltige Feinstäube
nach: UTIDIJAN 1975

Der in der Bundesrepublik Deutschland für den Kohlenbergbau gültige MAK-Wert von 4 mg/m^3 , nach dessen Definition auch bei wiederholter täglich achtstündiger Exposition bei 40-42 Wochenstunden die Gesundheit der Beschäftigten im allgemeinen nicht beeinträchtigt wird, führt immerhin in einer Zeche mittleren Risikos bei nicht mehr als 5 % der Bergleute nach 35 Jahren Exposition zu einer Silikose der Kategorie $\geq 2/3$ nach ILO, über 40 % der Bergleute erwerben in diesem Zeitraum eine kleinfleckige Silikose $\geq 1/2$ (REISNER 1983). Nach SHENNAN et al. 1981 entwickeln fast 10 % der über Fünfzigjährigen mit Silikose der Streuung 2, sowie etwa 18 % derjenigen der Streuung 3 innerhalb von fünf Jahren nach der Abkehr grobe Schwielen. Dies bedeutet, daß etwa 4,4 % aller Bergleute, die unter aktuellen gewerbehygienischen Bedingungen arbeiten, fünf Jahre nach ihrer Abkehr eine grobschwielige Silikose entwickeln. Eine Reduzierung des MAK-Wertes auf 2 mg/m^3 (i.e. $2,5 \text{ mg/m}^3$ vor Ort bei 8-Stunden-Schichten) senkte das Risiko, innerhalb von 35 Jahren eine Silikose der Kategorie $\geq 1/2$ zu erlangen, auf unter 20 %; nicht mehr als etwa 2 % der Bergleute entwickelten durchschnittlich innerhalb dieser 35 Jahre eine Silikose der Kategorie $\geq 2/3$, weniger als 0,2 % der über 55jährigen entwickelten innerhalb von fünf Jahren eine grobschwielige Silikose.

Die bisherigen Überlegungen zur Einschätzung des Silikoserisikos orientierten sich an dem Auftreten röntgenologischer Veränderungen und den damit verbundenen Lungenfunktionsbeeinträchtigungen. Eine Belästigung der Exponierten - entsprechend der MAK-Wert Definition - kann in der von ULMER und Mitarbeitern 1967 beschriebenen und von

LANGE, ULM et al. 1983, sowie HENSCHLER 1983 epidemiologisch-logistisch beleuchteten chronisch bronchialen Reaktion (CBR) gesehen werden, die zwar nicht als quarzstaubspezifisch, aber doch als Folge chronischer Staubbelastung betrachtet werden muß. Zwar ist der Einfluss von Rauchgewohnheiten und Lebensalter für die Entwicklung der CBR erheblich höher, doch ist eine statistisch signifikante Korrelation zwischen Gesamt- und deutlicher noch zwischen Feinstaubbelastung und CBR zu verzeichnen (LANGE, ULM et al. 1983). Nach den Berechnungen dieser Untersucher liegt das Risiko einer CBR nach 35 Jahren Staubbeltung im Bergbau von 4 mg/m^3 um etwa 5 % höher als bei nicht Staubexponierten. Auch dieser zusätzlichen Beeinträchtigung des Wohlbefindens durch die Folgen der Inertstaubbeltung ist bei der Grenzwertfindung Rechnung zu tragen, wobei jedoch die Abhängigkeit der Diagnosestellung von subjektiven anamnestischen Angaben und die bisher infolge fehlender Daten für niedrige Staubkonzentrationen bis zu 5 mg/m^3 rein rechnerische Ermittlung des CBR-Risikos bedacht werden müssen, sollten auf der Grundlage des vorliegenden Datenmaterials Empfehlungen ausgesprochen werden.

Vom ärztlich-ethischen Standpunkt müssen Staubgrenzkonzentrationen empfohlen werden, aus denen den Exponierten kein gesundheitliches Risiko entstehen kann. Die Festlegung von Grenzwerten, welche ein - wenn auch sehr geringes - Erkrankungsrisiko in sich bergen, muß in den Ermessensbereich politischer Entscheidung fallen. Insbesondere in den weniger industrialisierten Ländern sollte bedacht werden, daß der ökonomische Vorteil bei der Erwägung von Quarzstaubgrenzwerten mit höherem Erkrankungsrisiko wegen der später aus Berentung und Krankheit entstehenden Folgekosten unter Umständen nur kurzfristiger Art sein kann.

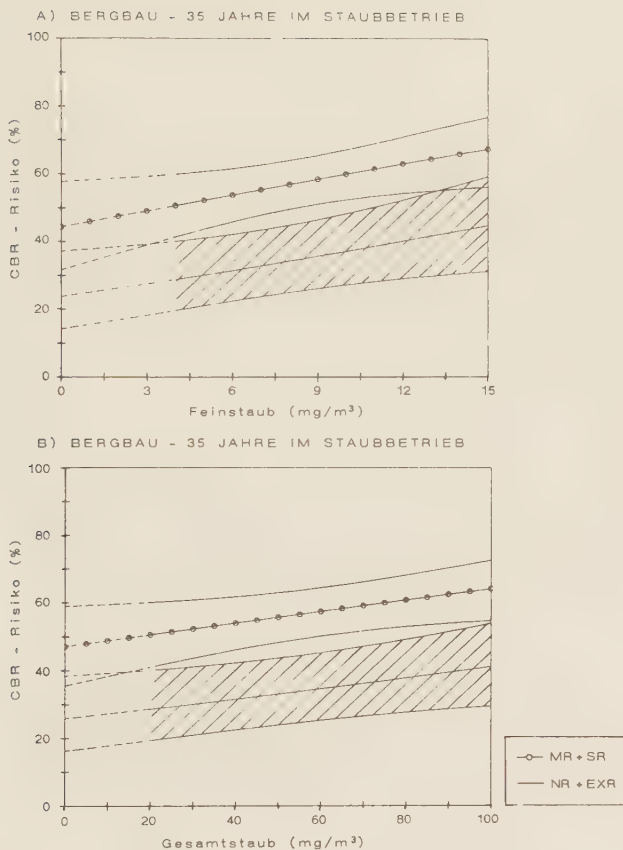


Abb. 73: CBR-Risiko im Bergbau in Abhängigkeit von der Feinstaub- (A) bzw. Gesamtstaubkonzentration (B) mit Hilfe eines logistischen Modells einschließlich den 95 %-Konfidenzbereichen getrennt für Raucher (MR + SR) und Nichtraucher (NR + EXR) dargestellt. Der Koeffizient für den Staubeinfluss ist signifikant von Null verschieden.

nach: LANGE, ULM et al. 1983

Abschließend seien als Dokumentation erfolgreicher Silikoseprävention der letzten Jahrzehnte die von JACOBSEN und auch von VÉKÉNY auf der VI. Internationalen Pneumokoniosekonferenz im September 1983 in Bochum vorgelegten Berechnungen der Silikoseinzidenz in Abhängigkeit von den Lebens- bzw. Dienstaltersstufen wiedergegeben, die eine Risikoeinschätzung unter aktuellen gewerbehygienischen Bedingungen annähernd ermöglichen.

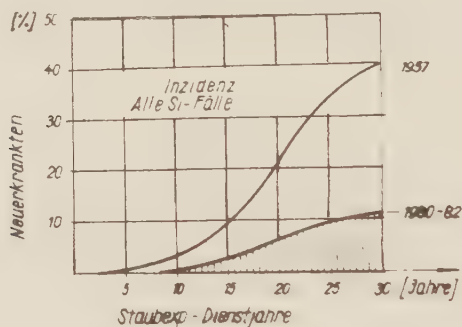


Abb. 74: Silikoseinzidenz im Mecseker Bergbau
nach: VÉKÉNY 1983

COLLIERY GROUP	NUMBER OF COLLIERIES	YEAR OF SURVEY	PREVALENCE RATE OF ALL CATEGORIES OF PNEUMOCOPOSIS PER 100 MINERS SURVIVED*		10-YEAR RATE OF INCREASE IN THE PREVALENCE RATE PER 100 MINERS IN THE AGE GROUP 25 - 34		ESTIMATE OF RELATIVE RISK
					(a)	(b)	
			age group at time of survey 25-34	35-44	- during the period 1959 through 1973	- during the period 1969 through 1981	
A	41	1959	2.8				
		1969	0.7	5.2	2.4		
		1978		1.7		1.1	0.46
B	55	1960	1.4				
		1970	0.6	3.8	2.4		
		1979		1.3		0.8	0.33
C	53	1962	0.8				
		1972	0.6	3.6	2.6		
		1980		1.0		0.5	0.18
D	49	1963	0.6				
		1973	0.3	3.3	2.7		
		1981		1.0		0.9	0.33
ALL GROUPS	198	Weighted means			2.5	0.8	0.32

* Age-specific prevalence data are from National Coal Board Medical Service Annual Reports for the years 1978 to 1981. The figures quoted are (weighted) averages over all collieries surveyed in particular years. Very substantial regional variations are evident in the original reports.

Tab. 27: Schätzungen der Silikoseinzidenz ($\%$)
über 10 Jahre für Bergleute zwischen
25 und 34 Jahren

a) während der Periode von 1959-1973

b) während der Periode von 1969-1981

nach: JACOBSEN 1983

IX. Forschungsmöglichkeiten

Genauere Untersuchungen des qualitativen und quantitativen, tatsächlich silikogen wirkenden Anteils der verschiedenen quarzhaltigen Stäube scheinen dringend erforderlich. Dabei sind nicht nur die Bestimmung der aktuellen freien Quarzoberfläche, sondern auch Erkenntnisse über das weitere Schicksal in vivo, z.B. das Ausmaß der fraglichen Zunahme der Silikogenität durch Demaskierung der Quarzoberfläche, von besonderem Interesse. Zugleich sollten differenziertere Analysen der bei der Bearbeitung der einzelnen quarzhaltigen Materialien und den unterschiedlichen technischen Verfahrensweisen auftretenden Stäube auch im Khlenbergbau erfolgen, um ihre jeweilige Silikogenität zu erfassen bzw. Verfahrensweisen zu ermitteln, bei denen geringere Mengen silikogener Feinstäube auftreten.

Auch eine kritische Beleuchtung der Gravimetrie scheint angezeigt, bedenkt man die bei unterschiedlichen spezifischen Gewichten und gleicher Masse auftretenden Volumenunterschiede einzelner Stäube (BRUCH et al. 1983), deren Einfluß bisher unerforscht blieb.

Untersuchungen, die einen genaueren Einblick in die im Organismus nach Quarzinkorporation ablaufenden pathophysiologischen Mechanismen gewähren, könnten zu Erkenntnissen führen, die eine frühzeitige Abschätzung des individuellen Silikoserisikos ermöglichen, bzw. therapeutische Möglichkeiten zur Milderung des silikotischen Umbaus bei prädis-

ponierten Personen eröffnen. Zusätzlich könnte eine zu entwickelnde Methode zur routinemäßigen Bestimmung individueller Depositions- und Clearanceraten Silikoserisiko und Einsetzbarkeit des einzelnen Arbeiters steuern helfen.

Nicht zuletzt sollten umfangreiche, international standardisierte und koordinierte epidemiologische Erhebungen solidere Daten für exposure-response Beziehungen bei allen vorkommenden quarzhaltigen Stäuben liefern, auf die sich differenzierte Empfehlungen für Staubgrenzwerte gründen könnten.

Quellennachweise

- ALLISON, A.C., P.D. Hart, Potentiation by silica of the growth of mycobacterium tuberculosis in macrophage cultures. Brit. J. Exp. Path. 49, 465-476, 1968
- ARMBRUSTER, L., H. BREUER, E. IGOS, G. NEULINGER, H.-J. RIECHWIEN, Aufnahme von Staub in den Atemtrakt, dessen Ablagerung in der Lunge und die Problematik der Messung des einatembaren Gesamtstaubes und des lungengängigen Feinstaubes. Silikosebericht Nordrhein-Westfalen 13, 131, 1981
- ARMBRUSTER, L., E. IGOS, G. NEULINGER, H.-J. RIECHWIEN, Technische Möglichkeiten zur Erfassung der biologisch wichtigen Staubfraktionen. Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau 14, 127-136, 1983

- AYER, H.E., The proposed ACGIH mass limits for quartz:
Review and evaluation.
Amer. Ind. Hyg. Ass. J. 30, 117,
1969
- BAILEY, M.R., FRY, F.A., JAMES, A.C., The Long-Term Clearance-Kinetics of Insoluble Particles from the Human Lung.
Ann. Occup. Hyg. Vol. 26, Nos. 1-4, pp. 273-290, 1982, Inhaled Particles V, Oxford, Pergamon Press
- BECK, E.G., BRUCH, J., BRUCKHAUS, A., Die Beeinflussung der zytotoxischen Quarzwirkung an Mäusefibroblasten (strain L) durch PVNO (P 204).
Z. Zellforsch. 59, 568-576, 1963
- BENNETT, J.G., J.A. DICK, Y.S. KAPLAN, L.A. SHAND, D.H. SHENNAN, D.J. THOMAS, J.S. WASHINGTON, The relationship between coal rank and the prevalence of pneumoconiosis.
British Journal of Industrial Medicine, 1979, 36, 206-210
- Berufsgenossenschaftliche Vorsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen,
Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Langartweg 103, Bonn 1
- BIASI, W. Di, Pathologische Anatomie der Silikose.
Beitr. Silik.-Forsch., 3, 1,
1949

- BIEBRICHER, W., W.I. ULMER, Irritabilität des Bronchialsystems und Staubbelastung (Untersuchung an Bergleuten und Nichtbergleuten).
Med. thorac. 20, 358, 1963
- BOHNING, D.E., H.L. ATKINS, S.H. COHN, Long-Term Particle Clearance in Man: Normal and Impaired.
Ann. Occup. Hyg. Vol. 26, Nos. 1-4, pp. 259-271, 1982, Inhaled Particles V
- BUNNVIE, A., Silicosis and individual susceptibility - fact or myth?
Ann. Occup. Hyg. Vol. 20, pp. 101-108, Oxford, Pergamon Press, 1977
- BURBE, E., Die Hemmung der zytotoxischen Wirkung von Gru-
benstäuben durch PVNO.
Dissertation, Universität
Essen, 1983
- BRUCH, J., Experimentelle Grundlagen über die Wirkung si-
likogener Stäube.
Handbuch der Inneren Medizin
IV, 1, 136-158, Springer-Ver-
lag 1976
- BRUCH, J., Lungendeposition und Risikobewertung bei par-
tikulären Luftschadstoffen.
Umwelthygiene 191, 1980

- BRUCH, J., M. GADE, A. HENKE, M.T.R. REISNER, W. STOP-
SCHINSKI, Der Einfluss der
Korngröße und der minera-
logischen Zusammensetzung
von Grubenstäuben auf die
Zytotoxizität.
Ergebnisse von Untersuchun-
gen auf dem Gebiet der
Staub- und Silikosebekämp-
fung im Steinkohlenbergbau,
14, 301-312, 1983
- BRUCH, J., W. HILSCHER, H.W. SCHLIPKÖTER, Specific harm-
fulness of respirable dusts
from West German Coal Mines,
IV Results of the quantitati-
ve lymph node test.
Ann. Occup. Hyg. 26, Inhaled
Particles V, 1-4, 505-510,
1982
- BRUCH, J., M.-R. IDOS, M.T.R. REISNER, J. ROSMANITH, Ver-
gleich der Ergebnisse von
Tier- und Zellversuchen.
Ergebnisse von Untersuchun-
gen auf dem Gebiet der
Staub- und Silikosebekämp-
fung im Steinkohlenbergbau,
14, 241-256, 1983

- BRUCH, J., A. SCHARMANN, H.-W. SCHLIPKÖTER, Untersuchung zur spezifischen Schädlichkeit von Feinstäuben des Steinkohlenbergbaus. XIX. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen, Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 14, 265-266, 1963
- BURRELL, R., C.K. FLAHERTY, I.C. SHERRIFFER, Immunological Studies of Experimental Coal-Workers' Pneumoconiosis. Inhaled Particles IV, W.H. WALTON Ed., 1, 519-530, Oxford, Pergamon Press, 1977
- CARTWRIGHT, J., Airborne dust in coal-mines: The particle-size-selection characteristics of dust-sampling instruments. Inhaled Particles and vapours II (T.V. AGNIS, Ed.), 393, London, Pergamon Press, 1967
- CASSWELL, C., J. BERGMAN, C.E. ROSSITER, The relation of radiological appearance in simple pneumoconiosis of coal-workers to content and composition of the lung. Inhaled Particles III, 2, 713-724, Surrey, 1971

- CHAMBERLAIN, E.A.C., A.D. MAKOVER, W.H. WALTON, New gravimetric dust standards and sampling procedures for British coal mines.
Inhaled Particles III, 2, 1015 Old Woking/
Surrey: Unwin Brothers 1971
- CHAN, T.L., M. LIPPMANN, Experimental measurements and empirical modelling of the regional deposition of inhaled particles in humans.
American Ind. Hyg. Association J., 41, 399, 1980
- COCHRANE, A.L., Relation between Radiographic Categories of Coalworkers' Pneumoconiosis and Expectation of Life.
British Medical Journal, 2, 532-534, 1973
- CUENEN, W., Beschreibung der Erfassungs- und Durchgangsfunktion von Partikeln bei der Atmung - Messtechnische Realisierung.
Int. Kolloquium "Schwebstoffe und Stäube" der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, D-Nürnberg, 1981
- COTTS, J.C., Lung Function. Oxford, Edinburgh: Blackwell 1968

- CRAWFORD, N.P., F.L. BODSWORTH, G.G. HADDEN, J. DODGSON,
A Study of Apparent Anomalies between Dust Levels
and Pneumoconiosis at British Collieries.
Ann. Occup. Hyg. vol. 26,
Nos. 1-4, 725-744, 1982,
Inhaled Particles V
- DALE, J.C., E.J. KING, Acute Toxicity of Mineral Dusts,
Arch. Indust. Hyg. 7,
478, 1953
- DAVIS, J.M.G., J. LITTEY, Anne LEROUX, The Effect of
Quartz and other non-coal Dusts in Coalworkers' Pneumoconiosis.
Inhaled Particles IV,
691-702, 1977, Pergamon
Press, Oxford, England
- DAVIS, J.M.G., J. ADDISON, J. BRUCH, S. BRUYÈRE, H.
DANIEL, G. DEGUELDRE,
J. DODGSON, M. GADE,
J. P. GERMELY, L. LEROUX,
BOUFFANT, J.C. MARTIN,
M. REISNER, K. ROBOCK,
R.W. SCHLIEPHAKE, Variations in Cytotoxicity
and mineral content between respirable mine
dusts from the Belgian,
British, French, and German coalfields

Ann. Occup. Hyg. Inhaled
Particles V, 26, 1-4, 541-
551, Oxford 1982

DESSAUER, P., E.J. BAIER, G.M. CRAWFORD, J.A. BEATTY,
Development of Patterns
of Coal Workers' Pneumo-
coniosis in Pennsylvania
and Its Association with
Respiratory impairment.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 200,
220-251, 1972

DICK, J.A., M. JACOBSEN, Sandra GAULD, P.O. PERN, The
Significance of irregu-
lar Opacities in the
Chest Radiographs of Bri-
tish Coal Miners.
Vortrag auf der VI. Inter-
nationalen Pneumokoniose-
konferenz Bochum 1983

DOBREVA, M., T. BURILKOV, K. KOLEV, P. LALOVA, Character-
istics of Lung Dusts
and their Relation to
Dust Exposure and Patho-
logical findings in the
Lungs.
Inhaled Particles IV,
Edited by WALTON, W.H.,
717-725, 1977, Pergamon
Press, Oxford, England

- EINBRODT, KLOSTERKÜTTER, Der freie SiO_2 -Gehalt des isolierten Lungenstaubs als Maß für die Silikose des Menschen.
Ergebnisse auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 5, 97, 1965
- ENTERLINE, Ph. E., A Review of Mortality Data for American Coal Miners.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 200, 260-272, 1972
- EULER, U.S., von, G. LILJESTRAND, Observation on the pulmonary arterial blood pressure in the cat.
Acta physiol. scand. 12, 301, 1946
- EZENWA, A.O., Studies of Environmental and Host Factors Influencing Personal Differences in Response to Industrial Silica Dust Exposure.
Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4, 745-752, Inhaled Particles V, 1982

GAENSLER, E.A., Pathological, Physiological and Radiological in the Pneumoconiosis.

Ann. N.Y. Acad. Sci.

200, 574, 1972

GLICK, M., K.G. DUTHRED, H.I. MCKENZIE, Pneumoconiosis and Respiratory Disorders of Coal Mine Workers of New South Wales, Australia.

Ann. N.Y. Acad. Sci.

200, 316-334, 1972

GOLSTEIN, B., J. WEBSTER, R.E.G. RANDALL, The fibrogenic effect of various South African mineral Dusts on the Lungs of Experimental Animals. Fortschritte der Staublungenforschung, 2, 507, Dinslaken 1967

GOLDSTEIN, B., I. WEBSTER, Coal Workers' Pneumoconiosis in South Africa.

Ann. N.Y. Acad. Sci.

200, 306, 1972

GONZALES, A., V. DE LA PEDRAJA, J. EGUIDAZU, J.M. ALON-
SO, The Relation between
Pneumoconiosis and Dust Ex-
posure in Spanish Coal Mines
with Comparative Studies of
Different Gravimetric Dust
Samplers.

Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4,
789-798, 1982

GORE, D.J., G. PATRICK, A Quantitative Study of the Pe-
netration of Insoluble Parti-
cles into the Tissue of the
Conducting Airways.

Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4,
Inhaled Particles V, 163-178,
1982

GRAHAM, W.G.B., R.V. O'GRADY, B. DUBUC, Pulmonary Func-
tion Loss in Vermont Granite
Workers A Long Term Follow-Up
and Critical Reappraisal.

Am. Rev. Respir. Dis., 123:
25-28, 1981

GRANDJEAN, E., H. TURRIAN, J.L., The fibrogenic action
of quartz dusts.

Arch. industr. Hlth. 14, 426,
1956

GRAVENKAMP, H., Vergleichende Untersuchung über die kli-
nisch-röntgenologische und
pathologisch-anatomische Beur-
teilung der Silikose.

Beitr. Silik.-Forsch. 42, 37,
1956

- GREINACHER, V., Die Mineursilikose in der Schweiz.
Z. Unfallmed. Berufskr. 38,
151, 1945
- HANKINSON, J.L., R.B. REGER, R.P. FAIRMAN, N.L. LAPP,
W.K.C. MORGAN, Factors in-
fluencing expiratory Flow
Rates in Coal Miners.
Inhaled Particles IV, WAL-
TON, W.H. Edit., 1, 737-750,
Pergamon Press, Oxford, 1977
- HEITZMANN, E.R., R.L. NAEYE, B. MARKARIAN, Roentgen
Pathological Correlations
in Coal Workers' Pneumoco-
niosis.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 210,
510, 1972
- HENSCHLER, D., Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe,
Toxikologisch-arbeitsmedi-
zinische Begründung von
MAK-Werten.
Weinheim: Verlag Chemie 1972
- HENSCHLER, D., Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe,
Toxikologisch-arbeitsmedi-
zinische Begründung von
MAK-Werten.
Verlag Chemie 9/1983

HEPPLESTON, A.G., G.W. CIVIL, A. CRITCHLOW, The effects of duration and intermittency of exposure on the elimination of air-borne dust from high and low rank coal-mines. Inhaled Particles III, W.H. WALTON Edit., 1, 261-270, Unwin Bros. 1970

HEPPLESTON, A.G., The biological response to silica. KULONEN, E., J. PIKKARAINEN (eds): Biology of fibroblasts, London, Academic Press, 529-537, 1973

HEPPLESTON, A.G., The Pathological Recognition and Pathogenesis of Emphysema and Fibrocystic Disease of the Lung with Special Reference to Coal Workers. Ann. N.Y. Acad. Sci., 200, 347-369, 1972

HEPPLESTON, A., Silicotic Fibrogenesis: A concept pulmonary fibrosis. Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4, 449-462, Inhaled Particles V, 1982

HILSCHER, W., M. KEMPER, J. ROSMANITH, B. MOLLIK, R. GRELVER, Morphometrische Untersuchungen zur fibrogenen und lymphozytären Wirkung von Grubenstäuben in den Mediastinallymphknoten nach intratrachealer Verabreichung. Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 14, 213-226, 1983

HÖER, P.-W., D.W. LAUFHÜTTE, H. LEITERITZ, Untersuchungen zur Silikogenität von grubenechten Stäuben durch den Intratrachealtest bei der Ratte. Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiete der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 7, 51, 1969

HÖER, P.-W., D. KOGPS, W. REBEL, Die Beeinflussung der Quarzretention durch Inhalation von Kohle. Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiete der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 9, 181, 1973

HUGHES, J.M., R.N. JONES, J.C. GILSON, Y.Y. HAMMAD, B. SAMIMI, D.J. HENDRICK, M. TURNER-WARWICK, N.J. DULL, H. WEILL, Determinants of Progression in Sandblasters' Silicosis. Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4, 701-712, Inhaled Particles V, 1982

HURLEY, J.F., J. BURNS, L. COPLAND, J. DODGSON, M. JACOBSEN, Coalworkers' simple pneumoconiosis and exposure to dust at 10 British coal-mines. British Journal of Industrial Medicine 39, 120-127, 1982

ISLAM, M.S., W.T. ULMER, Atemmechanische Untersuchungen zur Frage der Ventilationsbehinderung bei Patienten mit chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung, Pneumologie 146, 126, 1971

JACOBSEN, M., Entwicklung der Pneumokoniose der Steinkohlenbergarbeiter in Großbritannien im Verhältnis zu den Umweltbedingungen unter Tage. Informationstagung Technische Staubbekämpfung im Bergbau, 11., 12. und 13. Oktober, Luxemburg, 1972

JACOBSEN, Michael, Quantifying Radiological Findings
in Simple Pneumoconiosis.
Journal of the Royal Statistical Society, 24, 2,
229, Edinburgh, Appl.
Statist. 1975

JACOBSEN, M., Dust Exposure and Pneumoconiosis at 10
British Coal-Mines.
Vortrag auf der 5. Internationalen Pneumokoniose-
konferenz Caracas 1978

JACOBSEN, M., The British Pneumoconiosis Field Re-
search after 26 years:
a review of its contribu-
tion to the epidemiology
of coalminers' lung di-
seases.
Presented at a seminar on
Epidemiology and technical
and medical prevention of
coalminers' pneumoconiosis,
arranged by the Commission
of European Communities in
Luxembourg, 4./5. Oktober
1979

JACOBSEN, M., New data on the relationship between simple pneumoconiosis and exposure to coal mine dust.
Chest 78 (suppl.), 408-410,
1980

JACOBSEN, M., Coalworkers' Pneumoconiosis: Results from epidemiological studies in Britain.
Paper presented at the Vith International Pneumoconiosis Conference, Bochum, FRG, 20. September 1983

JACOBSEN, M., S. RAE, W.H. WALTON, J.M. ROGAN, The relation between pneumoconiosis and dust exposure in British coal-mines.
Inhaled Particles III, 2, 903, Old Woking, Surrey: Unwin Brothers 1971

JACOBSEN, M., J. BURNS, M.P. ATTFIELD, Smoking and Coalworkers' Simple Pneumoconiosis.
Inhaled Particles IV, 1, 759-772, Oxford, Pergamon Press, 1977

- JACOBSEN, M., J. DODGSON, Long-term experience in collecting and using occupational health data in the industry.
Ann. Occup. Hyg. 24, 4, 391-398, Great Britain, 1981
- JACOBSEN, M., W.M. MACLAREN, Unusual pulmonary observations and exposure to coal-mine dust: a case-control study.
Ann. Occup. Hyg. Inhaled Particles V, 26, 1-4, 753-766, Oxford, 1982
- JÄGER, R., Wechselwirkungen zwischen Quarz und Organismus.
Beiträge zur Silikoseforschung I, 189, Bochum 1951
- KENNEDY, T.H., W. RAWLINGS, jr., M. BASER, M. TOCKMAN, Pneumoconiosis in Georgia Kaolin Workers.
Am. Rev. Respir. Dis. 127: 215-220, 1983

- KESSEL, R.W.I., Considerations of the specificity of silica cytotoxicity.
Fortschritte der Staublungenforschung, 4, 123, Dinslaken, 1963
- KESSEL, R.W.I., C. MCNABO, M.A. MARCHELLO, The specificity of the cytotoxic action of silica - a study in vitro.
Brit. J. exp. Path. 44, 351-364, 1963
- KEY, M.M., Health standards and standard setting in the United States.
Annals of the New York Academy of sciences, 707-711, 1978
- KEY, M.M., H.D. AYER, Silicosis in Hard Rock Mining,
Journal of Occupational Medicine, 14, 863-65, Baltimore 1972
- KING, E.J., Chronic pulmonary disease in South Wales coal-miners, III. Experimental studies.
Med. Res. Council, Spec. Report Nr. 250, 69, London, 1945

KING, E.J., M. MCGEORGE, The biochemistry of silicid acid.

Biochem. J. 32, 417, 1938

KING, E.J., W. ROMAN, The biochemistry of silicid acid JII.

Biochem. J. 32, 2283, 1938

KING, E.J., G. NAGELSCHMIDT, Chronic pulmonary disease in South Wales, III. Experimental Studies. B. The Mineral content of the lungs of workers from the South Wales coalfield.
Med. Res. Council, 1, London, 1945

KING, E.J., G. NAGELSCHMIDT, Die pathologische Wirkung verschiedener Mineralstäube im Tierversuch.
Staublungenerkrankungen 2, 84, Darmstadt, 1954

KISSLER, W., K. MORGENTHAU, W. SCHERBECK, Electron Microscopic Investigations on Dust Penetration into the Pulmonary Interstitium in Experimental Pneumoconioses.
Respiration 43: 114-126, 1982

KLOCKMANN, Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie,
6. A. - 16. Aufl.
Überarbeitet und erweitert
von Paul RANDOHR und Hugo
STRUNZ.
Stuttgart: Enke 1978

KLOSTERKÜTTER, W., Tierexperimentelle Untersuchungen
Über die Lungenreinigung.
Beitr. Silik.-Forsch. Sbd.
2, 537, 1956

KLOSTERKÜTTER, W., Tierexperimentelle Untersuchungen
Über die Retention und Elimination von Stäuben bei
langfristiger Exposition.
Beitr. Silik.-Forsch. Sbd.
5, 417, 1963

KLOSTERKÜTTER, W., Tierexperimentelle Untersuchungen
Über den Einfluss von Quarz
auf die Retention und Elimination inerter Stäube.
Silikosebericht Nordrhein-
Westfalen 6, 69, 1967

KLOSTERKÜTTER, W., MAK-Werte für Quarzfeinstaub und für
quarzhaltigen Feinstaub. Definition und Begründung.
Ergebnisse von Untersuchungen
auf dem Gebiete der Staub-
und Silikosebekämpfung im
Steinkohlenbergbau, 9, 207,
Essen 1972

KLOSTERKÜTTER, W., H.-W. SCHLIPKÜTER, E. SCHILLER, A.

THAER, II. Wissenschaftliche Grundlagen zur gewerbehygienischen Beurteilung von Stäuben.

Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiete der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 2. Teil, 14, Essen, 1959 a

KLOSTERKÜTTER, W., H.-W. SCHLIPKÜTER, E. SCHILLER, A.

THAER, H. LEITERITZ, Wissenschaftliche Grundlagen zur gewerbehygienischen Beurteilung von Stäuben. Untersuchungen zur Schaffung von Unterlagen für Staubgrenzwerte, a) Tierversuchsreihen mit dem Intratrachealtest und Intraperitonealtest, 2. Serie.

Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiete der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 2. Teil, 14, Essen, 1959 b

KLOSTERKÜTTER, W., H.-W. SCHLIPKÜTER, E. SCHILLER, A.
THAER, H. LEITERITZ, Gewer-
behygienische Beurteilung von
Stäuben, 3. Serie.
Ergebnisse von Untersuchungen
auf dem Gebiete der Staub-
und Silikosebekämpfung im
Steinkohlenbergbau, 3. Teil,
23, Essen, 1960

KLOSTERKÜTTER, W., H.-W. SCHLIPKÜTER, E. SCHILLER, A.
THAER, M.T. MACKÜWSKI, Tier-
versuche über die Wirkung ver-
schiedener Bestandteile des
Ruhrkarbons.
Ergebnisse von Untersuchungen
auf dem Gebiete der Staub- und
Silikosebekämpfung im Stein-
kohlenbergbau, 4, 517, Dins-
laken, 1963 a

KLOSTERKÜTTER, W., Tierexperimentelle Untersuchungen
Über die Retention und Eli-
mination von Stäuben bei
langfristiger Exposition.
Beiträge Silikose-Forschung,
5, 417, Bochum, 1963 b

KLOSTERKÜTTER, W., G. BÜNEMANN, H. THEMANN, Tierexperimentelle Untersuchungen zur Frage der silikogenen Wirkung des Gossendorfer Trass. Fortschr. d. Staublungenf., 191, Dinslaken, 1963 c

KLOSTERKÜTTER, W., H.J. EINBRODT, Untersuchungen über den Einfluss von Quarz auf Retention, Penetration und Elimination eines inerten Staubes.
Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 5, 101, Essen, 1965

KLOSTERKÜTTER, W., Tierexperimentelle Untersuchungen über den Einfluss von Quarz auf die Retention, Penetration und Elimination inerter Stäube.
Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 6, 69, Detmold, 1967 a

KLOSTERKÜTTER, W., Retention, Penetration und Elimination von Quarz nach niedrig dosierter Langzeitinhalation.

Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 6, 69, Detmold, 1967 b

KLOSTERKÜTTER, W., H. LEITERITZ, Tierexperimentelle Untersuchungen über die Gewebswirkungen von Quarz, Quarzit und Glimmer.

Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 7, 39, Detmold, 1969

KÖNN, G., V. SCHEJBAL, W.P. OELLIG, Die pathologische Anatomie der Pneumokoniosen. Handbuch der Inneren Medizin IV, 1, 101-135, Springer Verlag, 1976

KREMER, R., Pulmonary Hemodynamics in Coal Workers' Pneumoconiosis. Ann. N.Y. Acad. Sci. 200, 413, 432, 1972

KRIEGSEIS, W., R. BIEDERBRICK, J. BOESE, K. ROßCK,
A. SCHARMANN, Investigations on the Determina-
tion of the Cytotoxicity
of Quartz Dust by Physi-
cal Methods.
Inhaled Particles IV,
WALTON, W.H. Edit., 1,
345-360, Oxford, Perga-
mon Press, 1977

KRIEGSEIS, W., A. SCHARMANN, Specific harmfulness
of respirable dusts from
West German Coal-Mines,
V. Influence of mineral
surface properties.
Ann. Occup. Hyg. Inhaled
Particles V, 26, 1-4,
511-526, Oxford, 1982

KRIEGSEIS, W., A. SCHARMANN, J. SERAFIN, E.G. BECK,
F. TILKES, J. BRUCH, Die
Abhängigkeit der Zytotoxi-
zität SiO_2 -haltiger Stäube
von ihrer Oberflächenrein-
heit.
Ergebnisse von Untersuchen-
gen auf dem Gebiet der
Staub- und Silikosebekämp-
fung im Steinkohlenbergbau,
14, 281-300, 1983

KUNCOVÁ, M., J. HAVRANKOVÁ, R. HOLUBA, E. PALECEK, Experimental silicosis of the rat, correlation of functional, biochemical and histological changes.
Arch. Environm. Health, 23, 366, 1971

KUNCOVÁ, M., J. HAVRANKOVÁ, R. HOLUBA, E. PALECEK, L. KUNC, Evolution of functional, biochemical and morphological changes in rat.
Arch. Environm. Health, 24, 281, 1972

LANDWEHR, R., E. BRUCKMANN, W.T. ULMER, E. REIF, Die Gewebswirkung von Quarz in Gegenwart von Eisenerzstäuben.
Ind. Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg., 19, 353, 1962

LANGE, H.-J., K. ULM, W. CCENEN, H. DRASCHE, M.T.R. REISNER, K. RÖDELSPERGER, H.-J. WOITOWITZ, Mathematische Modelle zur Frage eines Allgemeinen Staubgrenzwertes; epidemiologische Auswertungen mit Daten des DFG Schwerpunktprogramms "Chronische Bronchitis" (CB). Reihe Wissenschaftl. Arbeitsberichte, Verlag Chemie GmbH, D-6940 Weinheim, 1983

- LANGE, R., G. WORTH, U. SMIDT, W. STAHLMANN, Longitudinal Study of the Radiology of Coal Workers' Pneumoconiosis.
Int. Arch. Occup. Environ. Health, 45,
1.: 1-13, 11.: 157-200,
1980
- LAPP, N., Lung mechanics in coal workers' Pneumoconiosis.
Inhaled Particles III, 2,
645, Surrey, England, 1971
- LAPP, N., A. SEATON, C. KAPLAN, R. HUNSAKER, C. MORGAN,
Pulmonary Haemodynamics in
Coal Workers' Pneumoconiosis.
Inhaled Particles III, 2,
645, Surrey, England, 1971
- LAPP, L., A. SEATON, Lung Mechanics in Coal Workers' Pneumoconiosis.
Ann. N.Y. Acad. Sci., 211,
433-454, 1972
- LAUFHÜTTE, D.W., K. ROBOCK, W. KLOSTERKÖTTER, Untersuchungen über die zytotoxische Wirkung von Grubenstäuben aus dem Saarkarbon.
Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 8, 131, Essen, 1971

- LE BOUFFANT, L., Diskussionsbeitrag zur Schutzwirkung
der Kohlenstäube gegenüber
dem Quarz.
Grundlagenforschungen über
die Pneumokoniosen, 174,
Luxemburg, 1970
- LE BOUFFANT, L., H. DANIEL, J.C. MARTIN, Die Rolle des
Quarz bei der Bildung pneu-
mokoniotischer Läsionen
beim Steinkohlen-Bergarbei-
ter.
Kommission der Europäischen
Gemeinschaften - EGKS,
Schriftenreihe Arbeitshy-
giene und Arbeitsmedizin,
Luxemburg, 1977
- LE BOUFFANT, L., C. FRÖGER, Les pneumoconioses dans
les mines et leur préven-
tion.
Annales de Mines 1978, 63-
72
- LE BOUFFANT, L., H. DANIEL, J.C. MARTIN, S. BRUYÈRE,
Effect of Impurities and
Associated Minerals on
Quartz Toxicity.
Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4,
625-634, Inhaled Particles
V, 1982

LEE, P.H., Etiology of coal-workers' pneumoconiosis.
Pulmonary reactions to coal
dust: M.M. KEY, L.E. KERR,
M. BUNDY,
Academic Press N.Y. New York,
1959-1965, 1971

LEIGH, K.G., H.I. OUTHRED, MCKENZIE, A.N. WILES, Multiple Regression Analysis of Quantified Aetiological, Clinical and Post-Mortem Pathological Variables Related to Respiratory Disease in Coal-Workers.
Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4, 383-400, Inhaled Particles V, 1982

LEITERITZ, H., D. BAUER, E. BRUCKMANN, Mineralogical Characteristics of Airborne Dust in Coal Mines of Western Germany and their Relations to Pulmonary Changes of Coal Hewers.
Inhaled Particles III, 2, 729, Surrey, England, 1971

LEITERITZ, H., H.J. EINBRODT, W. KLOSTERKÖTTER, Grain size and mineral content of lung dust of coal-miners compared with mine dust.
Inhaled Particles and Vapours II Pergamon Press, 381, 1967 a

LEITERITZ, H., H.J. HOCH, H.J. EINHAUSEL, Die Mineral-
komponenten im Lungenstaub
verstorbener Bergleute.
Ergebnisse von Untersuchun-
gen auf dem Gebiet der
Staub- und Silikosebe-
kämpfung im Steinkohlen-
bergbau, 6, 91, Detmold,
1967 b

LIDDELL, D., validation of Classification of Pneumo-
coniosis.
Ann. N.Y. Acad. Sci., 202,
527-551, 1972

MÁNDI, A., G. GALGÓCZY, R. MÁGA, G. VILLÁNYI, A.
CSUCAS, Die Untersuchung
einiger Fragen von chro-
nischer Bronchitis und
Bronchialobstruktion bei
staubexponierten Personen.
Report: Congress of the
Hungarian Society of Occu-
pational Health, 224, Buda-
pest, 1971

MANOJLOVIC, N., N. SEEMAYER, Untersuchungen zur Ermittlung der individuellen Reaktionsweise gegenüber Quarz bei Bergleuten und Normalpersonen an in vitro gezüchteten Lymphozyten. Silikosebericht Nordrhein-Westfalen, 12, 181-186, 1979

MANOJLOVIC, N., N.H. SEEMAYER, Analyse der individuellen Reaktionsweise von Bergleuten gegenüber Quarzstaub an Lymphozytenkulturen. Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 14, 369-378, 1983

MARTIN, J.C., H. DANIEL-MOUSSARD, L. LE BOUFFANT, A. PELLICARD, The role of quartz in the development of coal-miners Pneumocniosis. Ann. N.Y. Acad. Sci., 220, 127, 1972

- ARTIN, J.-L., H. DANIEL, L. LE BOUTEFFANT, Short and long-Term Experimental Study of the Toxicity of Coal-Mine Dust and of some of its constituents.
Inhaled Particles IV, 1, 361-372, Oxford, Pergamon Press, 1977
- MARWYCK, Ch. van, E. FISCHER, Über die Beeinflussbarkeit der Quarzstaubphagozytose durch Leitstäube.
Arch. Hyg. 135, 161, 1951
- MATTHES, K., W.T. ULMER, D. WITTEKIND, Cor pulmonale.
Handbuch der Inneren Medizin, Band 4, Seite 59, Springer-Verlag, 1960
- MCDONALD, J.C., D. OAKES, Exposure-Response in Miners exposed to Silica.
Vortrag auf der VI. Internationalen Pneumokoniosekonferenz, Bochum, 1983
- MC LINTOCK, J.S., The Changing Prevalence of Coal-Workers Pneumoconiosis in Great Britain.
Ann. N.Y. Acad. Sci., 200, 278, 1972

MODELELL, M., P.G. MUNDER, H. FISCHER, Langzeitmessung der Atmung von Makrophagenkulturen in Gegenwart silikogener Partikel und Schutzstoffe.

Fortschritte der Staublungenforschung 2, 179-186, Dinslaken, Niederrheinische Druckerei, 1967

MORGAN, W.K.C., Lung volumes in active coal-miners.

Proc. Intern. Conf. Med. Federal Coal-Mine Health Safety Act, Washington DC, 1969

MORGAN, K.C., R. REGER, D.B. BURGESS, E. SHOUB, A

Comparison of the Prevalence of Coal-Workers' Pneumoconiosis and Respiratory Impairment in Pennsylvania Bituminous and Anthracite Miners.

Ann. N.Y. Acad. Sci., 200, 252-259, 1972

MORROW, P.E., F.R. GIBB, H. BEITER, F. AMATI, C. YLIE, R.W. KLIPPER, Pulmonary Retention of Coal-Dusts.

Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4, 291-307, Inhaled Particles V, 1982

- MUSK, A.W., J.C. COTES, Carol BEVAN, M.J. CAMPBELL,
Relationship between type
of simple coal-workers'
pneumoconiosis and lung
function. A mine-year
follow-up study of sub-
jects with small rounded
opacities.
British Journal of Indus-
trial Medicine, 38, 313-
320, 1981
- NAEYE, R.L., Types of Fibrosis in Coal-Workers' Pneu-
moconiosis.
Ann. N.Y. Acad. Sci., 200,
381, 1972
- NEBE, U., G. STRÜBEL, Ergebnisse aus licht- und elek-
tronenmikroskopischen Be-
stimmungen der Quarzober-
fläche.
Ergebnisse von Untersuchun-
gen auf dem Gebiet der
Staub- und Silikosebekämp-
fung im Steinkohlenbergbau,
14, 159-176, 1983
- OAKES, D., R. DOUGLAS, K. KNIGHT, M. WUSTEMANN, J.C.
MCDONALD, Respiratory
effects of prolonged ex-
posure to gypsum dust.
Ann. Occup. Hyg. 26,
833-840, 1982

OTTO, H., H. BREINING, Die Silikose in der Porzellanindustrie.

Berufskrankheiten in der
keramischen und Glasin-
dustrie, Würzburg, 5, 1959

OTTO, H., G. v. HINUEBER, Zur Häufigkeit des Emphysems,
der Tuberkulose und des Bron-
chuskarzinoms bei Staublun-
generkrankungen.

Prax. Pneumol. 26, 145-158,
1972

OTTO, H., H.J. WOJTOWITZ, Vergleichende Untersuchungen
von Strukturbefund und Rönt-
gendarstellung bei Emphysem
und Silikose.

Fortschritte der Staublun-
genforschung, 2, 451, Dins-
laken, 1967

PENMAN, R.W., Complications of Coal-Workers Pneumoco-
niosis.

Pulmonary reactions to coal-
dust: M.M. KEY, L.E. KERR, M.
BUNDY,

Academic Press New York, 179-
185, 1971

RODLFSCH, I., K. HINSELER, F. HERTELE, J.T. LUYER,
Kardiopulmonale Korrela-
tionen bei Silikose.
Klin. Wschr. 44, 677, 1966

POLICARD, A., M. LETART, J. CHARBONNIER, J. MARTIN,
J. DANIEL-MOUSSARD, Re-
cherches sur les inter-
actions charbon-quartz
daus le développement des
pneumoconioses des-
houillieus.
Arch. des Maladies Pro-
fessionelles de Médecine
du Travail et de Sécurité
Sociale 28, 589, Paris,
1967 a

POLICARD, A., M. LETART, J. CHARBONNIER, J. MARTIN,
J. DANIEL-MOUSSARD, A.
COLLET, Recherches expé-
rimentales sur la nocivi-
té de poussières de Char-
bon et leur pouvoir pro-
tecteur vis-à-vis de
quartz.
Fortschr. d. Staublungen-
forschung, 2, 351, Eins-
laken, 1967 b

Recommendations adopted by the Pneumoconiosis Conference.
Proceedings of the Pneumoconiosis Conference, Johannesburg
1959, London: J. sa. Churchill,
617-621, 1960

RAABE, O.R., W.S. TYLER, J.A. LAST, L.W. SCHWARTZ, L.L.
LOLLINI, G.L. FISCHER, F.D.
WILSON, D.L. DUNGWORTH, Studies of the Chronic Inhalation of Coal Fly Ash by Rats.
Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4, 189,
Inhaled Particles V, 1982

RAE, S., D.D. WALKER, M.D. ATTFIELD, Chronic bronchitis
and dust exposure in british
coal-miners.
Inhaled Particles III, 2, 883,
Surrey, England, 1971

RAJEWSKI, B., A. SCHAUB, G. KAHLAU, Experimentelle Geschwulsterzeugung durch Einatmung von Radiumemanation.
Naturwissenschaften 31, 170,
1943

RASCHE, B., Der Lungenreinigungsmechanismus und dessen
Störung bei Staubbelastung.
Handbuch der Inneren Medizin
IV, 1, 71-100, Springer-Verlag
1976

- RASCHE, B., HLA: Ein möglicher Individualfaktor bei der Pneumokonioseentwicklung.
Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 14, 379-384, 1983
- RASCHE, B., H. BAUMANN, Die zytotoxische Wirkung von oberflächenreinen Quarzstäuben mit einheitlicher Korngröße.
IV. Internationale Pneumokoniosekonferenz CIP 13, Bukarest, 1971
- RASCHE, B., M.T.R. REISNER, M.S. ISLAM, H. THIEL, I. ZIMMERMANN, H. BAUMANN, W.T. ULMER, Individual Factors in the Development of Coal-Miners' Pneumoconiosis.
Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4, 713-722, Inhaled Particles V, 1982
- RASCHE, B., W.T. ULMER, Über die zytotoxische Wirkung von fibrogenem Staub auf Alveolar- und Peritonealphagozyten in vitro.
Int. Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg. 21, 39, 1964

RASCHE, B., W.T. ULMER, Die zelluläre Retention und
der zelluläre Transport
inhalierter Staubpartikel
in Alveolarmakrophagen.
Med. thorac. 24, 227,
1967

RASCHE, B., W.T. ULMER, Quarz- und P 204-Wirkung auf
den Sauerstoffverbrauch
isolierter Meerschwein-
chenalveolarmakrophagen
unter besonderen Versuchs-
bedingungen (Teflonfilm-
methode).
Beitr. Silik.-Forsch. 98,
1, Bochum, 1969

RASCHE, B., W.T. ULMER, Tierexperimentelle Untersuchun-
gen über die Abhängigkeit der
zellulären Eliminationsrate
im Alveolarraum nach Staub-
exposition vom Alter der
Versuchstiere.
Beitr. Silik.-Forsch. 22,
27, 1970

RASMUSSEN, Donald L., Patterns of Physiological Im-
pairment in Coal-Workers'
Pneumoconiosis.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 200,
455-462, 1972

- REICHEL, G., Differences between intrathoracic gas measured by the bodyplethysmograph and functional residual capacity determined by gas dilution methods.
Progr. Resp. Res. Vol. 4, 188, Basel, KARGER, 1969
- REICHEL, G., Die Silikose (Anthrasilikose).
Handbuch der Inneren Medizin IV, 1, 159-320, Springer-Verlag 1976
- REICHEL, G., W.T. ULMER, H. BUCKUP, G. STEMPER, U. WERNER, Die chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen des Bergmannes.
Deutsche Medizinische Wochenschrift 94, 2375, 1969
- REICHEL, G., W.T. ULMER, The Interrelationship of Coal-miners' Pneumoconiosis and Bronchitis.
Inhaled Particles III, 2, 897, Surrey, 1971

REICHMANN, V., Über die Entwicklung der Silikosis (Gesteinstaublunge), ihre Beziehung zur Tuberkulose nebst Bemerkungen über ihre Begutachtung an der Hand von 2300 Fällen.

Beitr. Klin. Tuberk. 74, 452, 1956

REICHMANN, V., Schwere Silikose (klinischer Teil).

Handbuch der gesamten Unfallheilkunde (F. KÖNIG und G. MAGNUS Ed.), 2, 185, 1933

REINHARDT, M., M.T.R. REISNER, Vergleichsmessungen mit den gravimetrischen Staubprobenahmegegeräten MPG II und TBF 50. Silikosebericht Nordrhein-Westfalen, 13, 121, 1981

REISNER, M.T.R., Pneumoconiosis and Dust Exposure -
Results of an Investigation of Miners with a definite Dust Exposure for Periods of 7 to 10 Years. Inhaled Particles II, 453, Pergamon Press, 1965

REISNER, M.T.R., Pneumokoniose und Staubexposition im Ruhrbergbau, Ergebnisse einer Auswertung der Karteikarte "Tätigkeitsnachweis und Staubbelastung". Fortschritte der Staublungenforschung, 2, 305, Dinslaken, 1967

REISNER, M.T.R., Untersuchungen über die Beziehungen zwischen der Staubexposition und der Pneumokonioseentwicklung im Ruhrkohlenbergbau mit einem Vorschlag für die Arbeitseinsatzlenkung.
Beitr. Silikose-Forschung, 95, 5, 1968

REISNER, M.T.R., Pneumokoniose und Staubexposition, Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen im Ruhrkohlenbergbau über einen Zeitraum von 10 Jahren.
Silikosebericht Nordrhein-Westfalen, 8, 1971 a

REISNER, M.T.R., Pneumokoniose und Staubexposition -
Epidemiologische Untersuchungen im Ruhrbergbau über einen Zeitraum von 14 Jahren.
Silikosebericht Nordrhein-Westfalen, 10, 209, 1975

REISNER, M.T.R., Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen zum Fortschreiten von Staublungenveränderungen.
Silikosebericht Nordrhein-Westfalen, 11, 209, 1977

REISNER, M.T.R., Programm zur Untersuchung der spezifischen Schädlichkeit von Feinstäuben im Steinkohlenbergbau.
Silikosebericht Nordrhein-Westfalen, 12, 167, 1979

REISNER, M.T.R., Results of Epidemiologic Studies on the Progression of Coal-Workers' Pneumoconiosis.
Chest, 78, 2, August, 1980, Supplement

REISNER, M.T.R., Untersuchungen möglicher Individualfaktoren bei der Entwicklung der Pneumokoniose im Steinkohlenbergbau. I. Eine Kontrastgruppenstudie.
Silikosebericht Nordrhein-Westfalen, 13, 339, 1981

REISNER, M.T.R., Beziehungen zwischen Pneumokoniose und Staubexposition im Westdeutschen Steinkohlenbergbau. Vortrag auf der VI. Internationalen Pneumokoniosekonferenz vom 20.-23. September 1983 in Bochum

REISNER, M.T.R., K. ROBOCK, Results of Epidemiological, Mineralogical and Cytotoxicological Studies on the Pathogenicity of Coal-Mine Dusts. Inhaled Particles IV, 1, 703-716, Oxford, Pergamon Press, 1977

REISNER, M.T.R., J. FRIGGE, M. GADE, R.-W. SCHLIEPHAKE, E.W. FISCHER, Untersuchungen zur spezifischen Schädlichkeit von Feinstäuben des Steinkohlenbergbaus. V. Analysen von Feinstäuben und Kohlenproben. Silikosebericht Nordrhein-Westfalen, 13, 171, 1981

REISNER, M.T.R., J. BRUCH, W. HILSCHER, L. FRIEDSEIN,
D. PRAJSNAR, K. ROBOCK, J.
RUSMANITH, A. SCHARMANN, H.-W.
SCHLIPKÜTER, G. STRÜBEL, H.
WELLER, specific harmfulness
of respirable Dusts from West
German Coal-Mines. VI. Compa-
rison of experimental and epi-
demiological results.
Ann. Occup. Hyg. Inhaled Par-
ticles V, 26, 1-4, 527-541,
Oxford, 1982

REISNER, M.T.R., J. RUSMANITH, M. GADE, Die Zusammensetzung
des Staubes in den Lungen und
Lymphknoten der Ratte beim In-
tratrachealtest.
Ergebnisse von Untersuchungen
auf dem Gebiet der Staub- und
Silikosebekämpfung im Stein-
kohlenbergbau, 14, 195-212, 1983

ROBOCK, K., W. KLOSTERKÜTTER, Die physikalischen Halblei-
tereigenschaften und die zell-
schädigende Wirkung der ver-
schiedenen SiO_2 -Modifikationen.
Fortschritte der Staublungenfor-
schung, 2 (H. REPLUH, H.J. EIN-
BRODT Ed.), 117-123, Dinslaken,
Niederrh. Druckerei, 1967

ROBOCK, K., W. KLOSTERKÜTTER, Untersuchungen über die zyto-
toxische Wirkung von Grubenstäu-
ben aus Zechen des Ruhrgebietes.
Ergebnisse von Untersuchungen
auf dem Gebiet der Staub- und
Silikosebekämpfung im Stein-
kohlenbergbau, 7, 145, Essen,
1969

ROBOCK, K., W. KLOSTERKÜTTER, Investigations on the Cytotoxicity of SiO_2 Dusts. Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 10, 159, Essen, 1975

ROBOCK, K., J. BRUCH, M.T.R. REISNER, Untersuchungen zur spezifischen Schädlichkeit von Feinstäuben des Steinkohlenbergbaus. V. Ergebnisse von Zellversuchen nach der TTC und pO_2 -Methode. Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 13, Essen: Verlag Glückauf, 195-204, 1981

ROBOCK, K., M.T.R. REISNER, Specific harmfulness of respirable dusts from West German Coal-Mines. I. Results of cell tests. Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4, 473-480, Oxford, Pergamon Press, 1982

ROSMANITH, J., M.T.R. REISNER, D. PRAJSNAR, H. BREINING,
W. EHM, Untersuchungen zur
spezifischen Schädlichkeit von
Feinstäuben des Steinkohlen-
bergbaus. VIII. Die Beziehungen
zwischen der Zusammensetzung
des Feinstaubes, der retinier-
ten Staubmasse und der fibro-
tischen Reaktion in Lungen
und Lymphknoten der Ratte beim
Intratrachealtest.
Silikosebericht Nordrhein-
Westfalen, 13, 241, 1981

ROSMANITH, J. , M.T.R. REISNER, D. PRAJSNAR, H. BREINING,
W. EHM, Specific harmfulness
of respirable dusts from West
German Coal-Mines. II. Results
of intratracheal tests on rats.
Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4, 491-
504, Oxford, 1982

ROSMANITH, J., M.T.R. REISNER, D. PRAJSNAR, H. BREINING,
W. EHM, Die Beziehungen zwischen
der Zusammensetzung des Fein-
staubes, der retinierten Staub-
masse und der fibrotischen Re-
aktion in Lungen und Lymphkno-
ten der Ratte beim Intratrache-
altest (2. Mitteilung).
Ergebnisse von Untersuchungen
auf dem Gebiet der Staub- und
Silikosebekämpfung im Stein-
kohlenbergbau, 14, 177-194,
1983

- ROSS, H.F., E.J. KING, M. YOGANATHAN, G. NAGELSCHMIDT,
Inhalation Experiments with
coal dust containing five %,
10 %, 20 % and 40 % quartz:
Tissue reactions in the lungs
of rats.
Ann. Occup. Hyg. 5, 149, 1962
- ROSSIER, P.H., A. BÜHLMANN, P. LUCHSINGER, Cor pulmo-
nale und Silikose.
Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg.
13, 486, 1955
- ROSSITER, C.E., Relation of Lung Dust Content to Radio-
logical Changes in Coal-Wor-
kers.
Ann. N.Y. Acad. Sci., 200, 465-
477, 1972
- ROY, M., M.H. BECQEMIN, B. DANTZENBERG, C. SORS, A.
TEILLAC, G. GONGORA, Inhaled
Particles Deposition and Clea-
rances in Silicosis.
Vortrag auf der VI. Interna-
tionalen Pneumokoniosekonfe-
renz Bochum, 1983
- SAILER, S., Klinischer Beitrag zum Problem der akuten
Silikose,
Wien. Klin. Wschr. 73, 156,
1961

SARIC, M., Prevalence of Coal-Workers' Pneumoconiosis
in Yugoslavia.

Ann. N.Y. Acad. Sci., 200,
1, 301, 1972

SCHERER, E., Th. GÜBBELER, E. LÖHR, L. MAGMIS, M.

STROTGES, Neuere Gesichtspunkte über die röntgenologische Darstellbarkeit von inkorporierten Stäuben in der Lunge sowie vergleichende röntgenologische und nuklearmedizinische Untersuchungen über pulmonale silikotische Frühveränderungen.

Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 7, 117, Essen, 1969

SCHLEGEL, D., S.H. ZAIDI, B. MCLIK, W. HILSCHER, R.

GROVER, Vergleichende histologische und morphometrische Untersuchungen quarzinduzierter Läsionen (quarztypischer Areale-QTA) bei thymusintakten und thymusaplastischen Ratten.

Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 14, 329-340, 1983

SCHLIPKÖTER, H.-W., F. POTT, Die silikogene Wirkung von Quarz aus Grubenstaub nach seiner Isolierung. Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 8, 139, Essen, 1971 a

SCHLIPKÖTER, H.-W., W. HILSCHER, G. GAUSS, F. POTT, Veränderungen in den Lymphknoten der Ratte nach Gabe von Stäuben, die aus einer menschlichen Silikoseelunge isoliert worden sind. Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 8, 149, Essen, 1971 b

SCHLIPKÖTER, H.-W., N.H. SEEMAYER, N. MANOJLOVIC, Protektiver Effekt von Kohlenstaub gegenüber der zytotoxischen Wirkung von Quarz in Makrophagenkulturen des Meerschweinchens. Beitr. Silikose-Forschung, 28, 31-39, 1976

- SCHLIPKÜTER, H.-W., B. MOLIK, W. HILSCHER, J. BRUCH,
Spezifische Schädlichkeit von
Feinstäuben des Steinkohlen-
bergbaus.
Umwelthygiene, 149, 1962
- SCHMIDT, K.G., H. LÜCHTENRATH, Vergleich der Wirkungen
von Quarz-, Cristobalit- und
Tridymitstäuben im intra-
trachealen Tierversuch mit
Ratten.
Beiträge zur Silikoseforschung,
37, 1955
- SCHULTE, K., Festlegung von Staubgrenzen zur Staubbe-
kämpfung und Arbeitseinsatz-
lenkung im Steinkohlenberg-
bau.
Fortschritte der Staublungen-
forschung, 2, 267, Dinslaken,
1967
- SEEBACH, H.B., von, K.G. EDEN, Der lymphatische Reini-
gungsmechanismus der Lungen
bei SPF-Ratten unter expe-
rimenteller Quarzstaubbe-
lastung.
Ergebnisse von Untersuchungen
auf dem Gebiet der Staub- und
Silikosebekämpfung im Stein-
kohlenbergbau, 8, 179, Essen,
1971

SEEMAYER, N.H., N. MANOJLOVIC, Untersuchungen über die biologische Wirkung von Grubenstäuben. II. Vergleichende Prüfung der Zytotoxizität von 16 verschiedenen Grubenstäuben an alveolären Makrophagen des Meerschweinchens in vitro.

Silikosebericht Nordrhein-Westfalen, 12, 173, 1979

SEEMAYER, N.H., N. MANOJLOVIC, Autoimmunitätsphänomene bei Bergleuten und Pneumokoniosepatienten: Nachweis antinukleärer Antikörper im Serum.

Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 14, 357-368, 1983 a

SEEMAYER, N.H., Einfluß der Korngröße und des Mineralgehaltes auf die Zytotoxizität.

Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 14, 313-328, 1983 b

SEIFERT, H., Gedanken und Experimente zu einer Kausaltheorie der Silikose.

Beitr. Silik.-Forsch. 82, 1-92, 1964

SEIFERT, H., Strukturgetrennte Grenzflächenvorgänge in der unbelebten und belebten Natur. Naturwiss. Rundschau 19, 1, 50, 1966

SHENNAN, D.H., J.S. WASHINGTON, D.J. THOMAS, J.A. DICK,
Y.S. KAPLAN, J.G. BENNETT,
Factors predisposing to the
development of progressive
massive fibrosis in coal-
miners.

British Journal of Indus-
trial Medicine, 38, 321-
326, 1981

SIEMON, G., R. BREY, F. KARMANN, Untersuchungen zum
Gasaustausch bei Siliko-
sen.

Vortrag auf der VI. Inter-
nationalen Pneumokoniose-
konferenz, Bochum, 1983

SMIDT, U., Longitudinaler klinischer, röntgenolo-
gischer und funktionsana-
lytischer Befundverlauf bei
458 Kohlenbergarbeitern über
10 Jahre.

Vortrag auf der VI. Inter-
nationalen Pneumokoniose-
konferenz, Bochum, 1983

SMIDT, U., L. GASTHAUS, G. WORTH, M. ÖZOKYAY, Ver-
gleichende röntgenolo-
gische, funktionsanaly-
tische und szintigraphische
Untersuchungen bei verschie-
denen Lungenerkrankungen,
insbesondere bei der Sili-
kose.

Ergebnisse von Untersuchungen
auf dem Gebiet der Staub- und

Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 7, 119, Essen, 1969

SMITH, Th.J., B.D. BECK, J.D. BRAIN, W.C. HINDS, S.G. BARON, L. WEIL,
Prediction of Pneumoconiosis Risk by Bioassays of Particulate from Occupational Exposures.
Ann. Occup. Hyg., 26, 1-4, 435-448, 1982

SAUTAR, C.A., J.F. HURLEY, D.C. GURR, The Relationship between Dust Exposure and Lung Function in Miners and Ex-Miners.
Vortrag auf der VI. Internationalen Pneumokoniosekonferenz, Bochum, 1983

STAHLHOFEN, W., J. GEBHART, J. HEYDER, Experimental Determination of the regional deposition of aerosol particles in the human respiratory tract.
Am. Ind. Hyg. Ass. J., 41, 6, 1980

STURM, W., H.G. HOBBOHM, Vorkommen und Häufigkeit von Staublungenerkrankungen unter Berücksichtigung der qualitativen und quantitativen Staubbelastung in einem Scheuerpulverbetrieb.
Z. Ges. Hyg. 14, 347, 1968

- STÜBER, W., Silikotische Wirksamkeit und physikalisch-
chemische Eigenschaften ver-
schiedener Siliziumdioxid-
Modifikationen.
Beiträge Silikose-Forschung,
89, 1966
- SURBÖCK, A., Die Silikose der Mineure in Österreich.
Sichere Arbeit 3, 18, 1966
- THERIAULT, G.P. et al., Dust exposure in the Vermont
granite sheds.
Arch. Environ. Hlth. 28,
12, 1974 a
- THERIAULT, G.P. et al., Pulmonary function in granite
shed workers of Vermont.
Arch. Environ. Hlth. 28,
18, 1974 b
- THERIAULT, G.P. et al., Roentgenographic pulmonary
function and changes in
granite dust exposure.
Arch. Environ. Hlth. 28,
23, 1974 c
- THIEL, H., H. BAUMANN, I. ZIMMERMANN, S. BOUZRINA,
W.T. ULMER, Untersuchungen
möglicher Individualfakto-
ren bei der Entwicklung der
Pneumokoniose im Stein-
kohlenbergbau. II. Anam-
nestische, klinische, la-
borchemische und radiolo-
gische Befunde.
Silikosebericht Nordrhein-
Westfalen, 13, 345, 1981

THOMAS, K., Zur biologischen Wirksamkeit verschiedener
SiO₂-Modifikationen.
Beitr. Silik.-Forsch., 6,
21, Bochum, 1965

Threshold limit values of airborne contaminants and
intended changes, adopted
by American Conference of
Governmental and Industrial
Hygienists, Cincinnati, 18,
1970, Documentations of the
threshold limit values.
Am. Conf. of G. I.H., 1971

TLVs Threshold Limit Values for Physical Agents Adopt-
ed by ACGIH for 1978

TCMB, Tn.F., RAYMOND, L.D., Fifth international labor
organisation report on the
prevention of dust in mining,
tunneling and quarrying in
the US.
US Department of the In-
terior Mining Enforcement
and Safety Administration,
1975

- ULMER, W.T., Staubbelastung und Lungenfunktion.
Fortschritte der Staublungen-
forschung, 275, Dinslaken,
1963
- ULMER, W.T., Emphysem und Bronchitis des Bergmannes.
Fortschritte der Staublungen-
forschung, 2, 635, Dins-
laken, 1967 a
- ULMER, W.T., The relationship between dust exposure
and chronic obstructive bron-
chitis and emphysema.
Pneumoconiosis - H.A. SHAPIRO
Ed., Oxford, University Press -,
Inc. Capetown, 328-336, 1970
- ULMER, W.T., Silikose, Pathophysiologie und Klinik.
Med. Klin., 66, 293, 1971
- ULMER, W.T., Hypertrophie des rechten Herzens aus der
Sicht des Klinikers.
Verh. dtsh. Ges. Kreisl.-
Forsch., 38, 102, 1972
- ULMER, W.T., Pneumokoniosen und Lungenfunktion, Hand-
buch der Inneren Medizin,
IV, 1, Springer-Verlag, 1976
- ULMER, W.T., E. REIF, W. BIEBRICHER, Untersuchungen über
den Einfluß der Staubkonzentration und Staubart auf den
Widerstand in den Atemwegen.
Inhaled particles and vapours,
1 (C.N. DAVIES, Edit.), 55,
Oxford, Pergamon Press, 1961

- ULMER, W.T., G. REICHEL, Untersuchungen über die Altersabhängigkeit der alveolären und arteriellen Sauerstoff- und Kohlensäuredrucke.
Klin. Wschr., 41, 1, 1963
- ULMER, W.T., B. RASCHE, E. REIF, Untersuchungen über die Phagozytose von Quarz- und Korundstaub durch menschliche Leukozyten nach Zusatz von Aluminiumchlorid sowie Quarzstäuben mit chemisch veränderter Oberfläche.
Beitr. Silik.-Forsch., 80, 19, 1964
- ULMER, W.T., G. REICHEL, Pathophysiologie der Anthrakosilikose.
Dtsch. Med. Wschr., 89, 1333, 1964
- ULMER, W.T., B. RASCHE, Der Einfluss von PVNO auf Phagozyten.
Beitr. Silik.-Forsch., Sbd. 6, 255, 1965
- ULMER, W.T., G. REICHEL, Epidemiologische Untersuchungen zur klinischen Bedeutung des chronisch obstruktiven Lungenemphysems.
Beitr. Klin. Tuberk. 133, 180, 1966

- ULMER, W.T., E. REIF, Epidemiologische Untersuchungen
zur klinischen Bedeutung des
chronisch obstruktiven Lun-
genemphysems.
Beitr. Klin. Tuberk. 133,
180, 1966
- ULMER, W.T., E. REIF, W. WELLER, Die obstruktiven Atem-
wegserkrankungen. Pathophysio-
logie des Kreislaufs, der Ven-
tilation und des Gesamtaus-
tausches.
Stuttgart, Thieme 1966
- ULMER, W.T., G. REICHEL, G. ROESKE, A. FELDMANN, H.G.
HEIDEMANN, K.H. LÜBERMANN,
B. PETERSEN, H. GELSLEK,
Klinische und funktionsana-
lytische Untersuchungen bei
Bergleuten mit oder ohne Si-
likose im Vergleich zu nicht-
staubexponierten Arbeitern.
Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg.,
23, 32, 1967
- ULMER, W.T., G. REICHEL, M.S. ISMAM, Pathophysiologische
Bedeutung der Größe der Resi-
dualluftkapazität.
Verh. dtsh. Ges. inn. Med.,
74, 202, 1968

- ULMER, W.T., G. REICHEL, V. WERNER, Die chronisch obstruktive Bronchitis des Bergmannes. Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg., 25, 75, 1968
- ULMER, W.T., G. REICHEL, D. NOLTE, Die Lungenfunktion. Stuttgart: Thieme 1970
- ULMER, W.T., G. REICHEL, Epidemiological problems of coal-workers' bronchitis in comparison with the general population. Ann. N.Y. Acad. Sci. 200, 211, 1972 a
- ULMER, W.T., G. REICHEL, Functional impairment in coal-workers' pneumoconiosis. Ann. N.Y. Acad. Sci. 200, 405, 1972 b
- UTIDJIAN, H.M., Criteria Documents, Recommendations for a Crystalline Silica Standard. Journal of Occupational Medicine, Baltimore, 17, 775-781, 1975
- VALENTIN, H., Sozial- und Arbeitsmedizinische Aspekte des chronischen unspezifischen respiratorischen Syndroms. Med. Klin. 63, 1281, 1968

VÉKÉNY, H., Empirische Gewinnung einer Staub-Grenzkonzentration dargestellt am Beispiel des Mecseker Kohlenbergbaus.

Staub, Reinhaltung Luft, 38, 8, 336-340, 1978

VÉKÉNY, H., Einige Fragen der Strategie der Staubbekämpfung zur Vorbeugung der Pneumokoniose im ungarischen Kohlenbergbau.

Vortrag auf der VI. Internationalen Pneumokoniosekonferenz Bochum, 1983

VYSKOCIL, J., J. TUMA, M. MACEK, Relationship between morphological changes and content of silica and Hydroxyproline in bronchi and lungs of coal-miners.

Int. Arch. Arbeitsmed. 20, 157, 1970

WAGNER, R., Beruflich verursachte Pneumokoniose unter besonderer Berücksichtigung der Quarzstaublungenenerkrankung in der Bundesrepublik Deutschland.

Arbeitsschutz 69, 192, 1969

WAGNER, J.C., Etiological Factors in Complicated Coal-Workers' Pneumoconiosis.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 200,
401, 1972

WALKENHORST, W., Physikalische Eigenschaften von Stäuben sowie Grundlagen der Staubbmessung und Staubbekämpfung.
Handbuch der Inneren Medizin
IV, 1, 11-70, Springer-Verlag
1976

WALTON, W.H., J. DODGSON, G.G. HADDEN, M. JACOBSEN,
The Effect of Quartz and
other Non-coal Dusts in
Coal-Workers' Pneumoconiosis,
Part I: Epidemiological Studies.
Inhaled Particles IV, 1, 669-
690, Oxford, 1977

WELLER, W., The relationship between duration and dust inhalation of a coal-quartz mixture and dust retention. Lung function and pathology on rats.
Inhaled Particles III, 1,
337, Surrey, England, 1971

- WELLER, W., Grundlagen der tierexperimentellen Pneumokonioseforschung.
Handbuch der Inneren Medizin IV, 1, 649-678, Springer-Verlag 1976
- WELLER, W., Anthrakovsilikose. Tierexperimentelle Forschung.
Bergbau-Berufsgenossenschaft, Bochum 1977
- WELLER, W., Untersuchungen zur spezifischen Schädlichkeit von Feinstäuben des Steinkohlenbergbaus. IX. Ergebnisse des Intraperitonealtests.
Silikosebericht Nordrhein-Westfalen, 13, 251, 1981
- WELLER, W., Specific harmfulness of respirable Dusts from West German Coal-Mines.
III. Results of intraperitoneal test on Rats.
Ann. Occup. Hyg. Inhaled Particles V, 26, 1-4, 491-504, 1982
- WELLER, W., Weitere Ergebnisse aus dem Langzeit-Intraperitonealtest an Ratten.
Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau, 14, 227-240, 1983

WELLER, W., W.T. ULMER, Inhalation Studies of coal-quartz dust mixture.
Coal-Workers' Pneumoconiosis,
Ann. N.Y. Acad. Sci. 200, 142,
1972

WELLER, W., J. ROSMANITH, Vergleich der Wirkung eines
grubenechten Staubes im Intra-
peritonealtest, im Intratracheal-
test und im Inhalationstest.
Ergebnisse von Untersuchungen
auf dem Gebiet der Staub- und
Silikosebekämpfung im Stein-
kohlenbergbau, 14, 257-265,
1983

WILES, F.J., M.H. FAURE, Chronic Costructive Lung
Disease in Gold Miners.
Inhaled Particles IV, 727-
734, Oxford, 1977

WOHLBEREDT, F., Welches Lebensalter erreichen Silikose-
kranke im Vergleich zu anderen
Bevölkerungsgruppen?
Berufsgen. Bochum, 2, 63, 1975

WOHLBEREDT, F., Die Silikose im Bergbau der Bundesrepu-
blik Deutschland.
Kompaß, Zeitschrift für Sozial-
versicherung im Bergbau, 93.
Jahrgang, Heft 9, 377-393,
September 1983

WORTH, G., Lungenfunktionsprüfungen von Kohlenbergarbeitern in den ersten Berufsjahren.

Beitr. Silik.-Forsch., 6,
403, Bochum, 1965

WORTH, G., L. GASTHAUS, W. LÜMING, K. MUYSERS, F. SIEHCOFF, K. WERNER, Lungenvolumina und Lungenzeitvolumina bei Kohlenbergarbeitern.

Int. Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg. 17, 396, 1959

WORTH, G., K. MUYSERS, H.J. EINBRODT, Über die Korrelation von röntgenologisch, pathologisch-anatomischen und staubanalytischen Befunden bei der Kohlenbergarbeiterpneumokoniose.

Beitr. Silik.-Forsch., 96, 3,
1968

WORTH, G., H. KREKELER, U. SMIDT, G. NIEDING, von, Vergleiche von Ventilations- und Perfusionsszintigraphie, Röntgenologie, Funktionsanalyse und Klinik bei Bronchitis, Emphysem und Pneumokoniose.

Beitr. Silik.-Forsch., 27,
77, Bochum, 1975

- WORTH, G., W. STAHLMANN, Silikose und Tuberkulose.
Handbuch der Inneren Medizin
IV, 1, 321-338, 1976
- WORTH, H., Neuere Methoden der Emphysemdiagnostik
insbesondere bei Staubexpo-
nierten.
Vortrag auf der VI. Interna-
tionalen Pneumokoniosekonfe-
renz Bochum, 1983
- YEATES, D.B., T.R. GERRITY, Ch.S. GARRAD, Character-
istics of Tracheobronchial De-
position and Clearance in Man.
Ann. Occup. Hyg. 26, 1-4, 245-
257, Inhaled Particles V, 1982
- ZAHORSKI, W.W., Trends in Coal-Workers' Pneumoconiosis
in Poland.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 200, 292,
1972
- ZIMMERMANN, I., W.T. ULMER, A.E. CHIMOMBE, M. LINDKE,
U. BENGTSOON, U. MOCKER, Un-
tersuchungen von Röntgenergeb-
nissen bei Überwachungsunter-
suchungen von vier Ruhrgebiets-
betrieben.
Ergebnisse von Untersuchungen auf
dem Gebiet der Staub- und Sili-
kosebekämpfung im Steinkohlen-
bergbau, 14, 385-398, 1983

ZISKIND, M., R.N. JONES, H. WEILL, Silicosis - State
of the Art.
Am. Rev. of Respir. Disease,
113, 643-665, 1976

L e b e n s l a u f

Ich wurde am 10.11.1955 als Sohn des Bauingenieurs Friedrich-Wilhelm Beddig und der kaufmännischen Angestellten Helene Beddig geb. Kammradt in Bochum geboren. Ich besuchte von 1962 bis 1966 die Volksschule und von 1966 bis 1974 ein neusprachliches Gymnasium, an dem ich 1974 die Reifeprüfung ablegte. An der Ruhr-Universität Bochum studierte ich ab 1974 Medizin und legte im Oktober 1980 dort das Staatsexamen ab. Nach der Approbation arbeitete ich als Assistenzarzt in der Anaesthesie und Chirurgie; seit einem Jahr bin ich Assistent an der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik der Berufsgenossenschaftlichen Krankenanstalten "Bergmannsheil Bochum" bei Prof. Dr. med. W.T. Ulmer.

Ich lebe mit meiner Ehefrau in Bochum.

Bochum, den 16.2.1984

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. W.T. Ulmer für die freundliche Überlassung des Themas und die wohlwollende Unterstützung während der Vorbereitung der Arbeit.

Nicht zuletzt schulde ich aber auch meiner Ehefrau Sabine herzlichen Dank, die mir bei der Verfertigung der druckreifen Fassung dieser Arbeit in zahlreichen Stunden hilfreich zur Seite gestanden hat.

A b s t r a c t

BEDDIG, MARTIN

MEDIZINISCHE GRUNDLAGEN FÜR DIE ERANKBITUNG VON GRENZ- WERTEN BEI DER EXPOSITION VON QUARZSTAUB UND QUARZHAL- TIGEN MISCHSTÄUBEN

Eine - im Vergleich zur ersten Jahrhunderthälfte allerdings auf sehr niedrigem Niveau - stagnierende Prävalenz von durch Quarzstäube bzw. quarzhaltige Mischstäube verursachten Pneumokoniosen, sowie erhebliche Differenzen von Prävalenz und Schweregrad im Vergleich hochindustrialisierter Länder mit Staaten, die sich noch in der Entwicklung befinden, geben im Rahmen der WHO Anlaß zu auf medizinischen Erkenntnissen basierenden Harmonisierungsempfehlungen von maximal tolerierbaren Quarz- und Quarzmischstaubexpositionen.

Eine Übersicht aktueller Literatur zeigt, daß sich die tierexperimentell beobachtete lineare Abhängigkeit der Schädlichkeit eines Staubes von seinem Quarzgehalt bei natürlich vorkommenden quarzhaltigen Mischstäuben nicht bestätigen läßt. Die unterschiedliche Toxizität relativ quarzarmer Mischstäube, für die sich keine Abhängigkeit vom Quarzgehalt nachweisen läßt, wird auf das geologische Alter der abgebauten Materialien sowie die damit verbundenen Eigenschaften und Vorkommen der Begleitminerale zurückgeführt. Neben zum Teil erheblichen Differenzen des Silikoserisikos in den einzelnen Betrieben zeigt sich eine signifikante Abhängigkeit zwischen der Gesamtstaubexposition im Leben und der Pneumokonioseprävalenz. Anhand der dargestellten Korrelationen kann das zu erwartende Krankheitsrisiko bei unterschiedlichen Staubgrenzkonzentrationen abgeschätzt werden. Da bei grosschwielligen Silikosen gehäuft mit funktionellen Ausfällen zu rechnen ist, sollten diese Kategorien durch Begrenzung der Staubbelastung vermieden werden. Entgegen bisherigen Empfehlungen zur Abschätzung der Staubbelastung am Arbeitsplatz sollte, anstatt des alveolargängigen, in Zukunft der tatsächlich alveolardeponierbare Feinstaubanteil gemessen werden, um die Fehlerbreite bei der Risikobewertung weiter zu senken.

